

丁仲礼院士关于碳中和的思考汇总

01、在“两个先行”大格局中做好双碳工作	1
02、中国碳中和，可这样四步走！	4
03、碳中和对中国的挑战和机遇	6
04、技术为王将在碳中和过程中得到完全体现	15
05、聚焦碳中和需要市场和政府两只手形成合力	17
06、坚持全国一盘棋 找出碳达峰碳中和的科技“最优解”	18
07、聚焦碳达峰碳中和：空间遥感技术来了！	20
08、碳中和目标对科技界提出了新考验	22
09、碳中和：经济社会系统性转型	25
10、实现碳中和需以市场机制为基础，技术迭代为前提	26
11、温室气体减排不能背弃公平正义	32
12、我们需要用一种公平方式来分配碳排放权	36
13、推进能源结构优化是治理雾霾的必由之路	39
14、“人均累计排放”最能体现公平正义原则	41
15、可再生能源法实施中存在的问题及相关建议	44
16、中国碳中和框架路线图研究	54

01、在“两个先行”大格局中做好“双碳”工作

时间：2022.6.21 来源：浙江日报

原文链接：

http://zjnews.zjol.com.cn/zjnews/202206/t20220621_24407112.shtml

实现碳达峰碳中和，是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策。省党代会报告提出要奋力推进共同富裕先行和省域现代化先行，要求扎实推进碳达峰碳中和。作为“两个先行”的题中之义，浙江如何做好碳达峰碳中和这道“必答题”？全国人大常委会副委员长、民盟中央主席、中科院院士丁仲礼就此接受了本报记者专访。

“双碳”是严峻挑战，也是巨大机遇

二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和，这是我国向世界作出的庄严承诺。

“2060 年实现碳中和，对我国固然是一个非常严峻的挑战，但也蕴含着巨大的机遇。”丁仲礼表示，首先，我国煤炭资源相当丰富，但煤炭燃烧时所排放的硫化物、氮氧化物和粉尘容易污染大气环境，我们如能够大规模利用可再生能源而逐渐摆脱对煤炭的依赖，将会有力推动资源集约利用和环境持续改善；其次，我国的太阳能资源相当丰富，如能在西北部干旱区多建太阳能发电站，将在清洁能源替代和生态恢复两方面获得显著效益；再次，我国在非碳能源领域的技术相对先进，包括光伏发电、核能、储能、特高压输电等技术，在全球绿色转型大潮中，我们的绿色技术将支撑新兴产业的发展，成为经济增长的新动能，并为我国的民族复兴大业提供强大助力。

因此，实现碳中和，并不全是国际社会强加于我们的事情，也是我国经济社会发展到一定程度之后的内在要求。当然，在这场广泛而深远的绿色转型中，我们一定要自己掌握自己的节奏，先立后破、稳扎稳打，不能引起能源短缺危机；同时，也要使能源的价格保持在相对低廉的水平，既给老百姓的生活带来真真切切的便

利，又能使我们的制造业继续在上世界上保持足够的竞争力。

推进“双碳”工作，需要从三端发力

如何理解碳达峰碳中和，这是推进“双碳”工作的逻辑起点。丁仲礼介绍说，碳达峰是指二氧化碳排放量达到峰值，然后开始稳中下降；碳中和是指二氧化碳“净零排放”，也就是说，人类可以排放一定数量的二氧化碳，但这个排放量中的一部分被自然过程吸收固定下来，余下部分则通过人为努力而固定。当排放量与固碳量相等时，大气中的二氧化碳浓度不再继续增高，就达到碳中和了。

根据国家相关统计，我国目前的一次能源消费总量约为每年 50 亿吨标准煤，其中煤炭、石油、天然气的占比约为 85%，非碳能源的占比仅为 15%。二氧化碳的终端排放源主要为工业（约占 68.1%）、建筑（约占 17.6%）和交通（约占 10.2%）。

“从以上数据可见，在我国的能源消费结构中，煤炭、石油、天然气所占的比重非常大，因此，要实现碳中和，需要从‘三端共同发力’，即发电端用风、光、水、核等非碳能源替代煤、油、气；能源消费端通过工艺流程再造，用绿电、绿氢、地热等替代煤、油、气；固碳端用生态建设、碳捕集—利用—封存（CCUS）等碳固存技术，将碳人为地固定在地表、产品或地层中。这就是碳中和的基本逻辑。”丁仲礼说，概括来说，发电端之要在构建新型电力系统，能源消费端之要在电力替代、氢能替代以及工艺重构，固碳端之要在生态建设。

在丁仲礼看来，浙江作为能源消费大省、能源资源小省，要找准定位，立足长远，做好系统谋划。在发电端，浙江一次能源匮乏，省外来电占比比较高，可提前谋划，以参股投资等方式主动与外省在绿电供应上开展合作。在能源消费端，工业是最大的排放源，为此要优化产业结构，尽可能少布置、不布置高耗能高排放产业，加快发展低碳高效产业，着力布局智力密集型、技术密集型产业；此外，交通、建筑是另外两大排放源，交通方面或可加快电动汽车、氢能汽车的产业化替代，建筑方面尽可能把家庭生活所用的煤气、天然气替换成电等等。在固碳端，生态建设是最经济、最有效的固碳办法，浙江作为“两山”理念发源地，在生态文明建设上有很好的基础和自然条件，应坚持用长远的眼光谋划未来的生态建设工作，比如进一步优化林木结构以增强森林固碳效果等。“通过三端发力，特别是在能源消费端和固碳端及早谋划，浙江是可以做出特色亮点、走在全国前列

的。”

实现“双碳”目标，说到底还是技术为王

实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会变革，如何在经济高质量发展、保障能源安全、提升百姓生活品质等多目标平衡中寻找最优解？

丁仲礼表示，碳中和说到底还是技术为王，只有靠先进的技术才能获得产业的竞争力。在发电端，要建立光伏发电、风力发电为主的新型电力系统，无论是发电还是储能、转化、消纳、输出等，技术上都有大量需要攻克的关键环节，这将成为实现碳中和目标的重中之重。而能源消费端的“替代路线”，需用非碳能源发电、制氢，再用电力、氢能替代煤、油、气用于工业、交通、建筑等领域，从而实现消费端的低碳化甚至非碳化，同样需要研发大量新技术并布局大量新产业。此外，无论是发电端还是能源消费端，到2060年都还是会有相当数量的碳排放存在，需要其他碳固存技术予以中和。

有先进并廉价的技术可供这“三端”所用，是实现碳中和的前提条件。为此，一方面，要进一步加大科技投入，加快关键核心技术攻关；另一方面，要尽快将先进技术加以产业化，利用产业政策和市场竞争，使其不断迭代降低成本，逐步变成“白菜价”。这就要求协调好政府和市场，力求使“两只手”均发挥出最大效能。据估计，我国实现碳中和，需要百万亿元数量级的投资，绝非政府一家能够独立负担，投资主体还是应该来自市场，但在引导投资过程中，政府可在法律法规、税收、补贴、产业政策、碳配额投放、绿色金融政策等方面发挥十分有力的作用。以光伏发电为例，十多年前我国尚需对上网电价提供高额补贴，现在已经可以竞争平价上网。这是政府和市场形成合力的典型案例，也是我们未来必须坚持发挥的体制优势。浙江作为市场经济大省，具有市场主体活跃的优势，在技术研发特别是产业化方面也可以大有作为。

02、中国碳中和，可这样“四步走”！

时间：2022.28 来源：科碳加

原文链接：<https://www.163.com/dy/article/H1B422530552JRE3.html>

过去的全球碳循环数据表明，人为排放二氧化碳中的 54%被陆地和海洋的自然过程所吸收，假定未来几十年碳循环方式基本不变，尤其是海洋吸收 23%的比例不变，则各国排放的留在大气中的 46%那部分应该是“中和对象”。但事实上，陆地吸收的 31%，一部分是通过生态过程，一部分是通过其他过程，二者之间的比例目前尚未研究清楚。

根据相关研究，2010—2020 年间我国陆地生态系统每年的固碳量为 10 亿—13 亿吨二氧化碳。

一些专家根据这套数据采用多种模型综合分析后，预测 2060 年我国陆地生态系统固碳能力为 10.72 亿吨二氧化碳/年，如果增强生态系统管理，还可新增固碳量 2.46 亿吨二氧化碳/年，即 2060 年我国陆地生态系统固碳潜力总量为 13.18 亿吨二氧化碳/年。

根据以上分析，如果我国 2060 年排放 25 亿—30 亿吨二氧化碳，则海洋可吸收 5.75 亿—6.9 亿吨，生态建设吸收 13 亿吨，陆地总吸收的 31%中，生态吸收以外的其他过程如果占比 17%，则为 4.25 亿—5.1 亿吨，那么吸收总数将在 23 亿—25 亿吨之间；在此基础上，如果发展 5 亿吨规模的 CCUS 技术固碳，则大致能达到碳中和。

如果我们将 2060 年“不得不排放”的二氧化碳设定为 25 亿—30 亿吨，则需要目前在 100 亿吨的基础上减排 70%—75%，挑战性非常之大。这就需要制定分阶段减排规划。

理论上讲，我国可考虑“四步走”的减排路径，从现在起用 40 年左右的时间达到碳中和目标。

控碳阶段第一步为“控碳阶段”，争取到 2030 年把二氧化碳排放总量控制在 100

亿吨之内，即“十四五”期间可比目前增一点，“十五五”期间再减回来。

在这第一个十年中，交通领域争取大幅度增加电动汽车和氢能运输占比，建筑领域的低碳化改造争取完成半数左右，工业领域利用煤+氢+电取代煤炭的工艺过程完成大部分研发和示范。这十年间增长的电力需求应尽量少用火电满足，而应以风、光为主，内陆核电完成应用示范，制氢和用氢的体系完成示范并有所推广。

减碳阶段第二步为“减碳阶段”，争取到 2040 年把二氧化碳排放总量控制在 85 亿吨之内。

在这个阶段，争取基本完成交通领域和建筑领域的低碳化改造，工业领域全面推广用煤/石油/天然气+氢+电取代煤炭的工艺过程，并在技术成熟领域推广无碳新工艺。这十年，火电装机总量争取淘汰 15% 的落后产能，用风、光资源制氢和用氢的体系完备并大幅度扩大产能。

低碳阶段第三步为“低碳阶段”，争取到 2050 年把二氧化碳排放总量控制在 60 亿吨之内。在此阶段，建筑领域和交通领域达到近无碳化，工业领域的低碳化改造基本完成。

这十年，火电装机总量再削减 25%，风、光发电及制氢作为能源主力，经济适用的储能技术基本成熟。据估计，我国对核废料的再生资源化利用技术在这个阶段将基本成熟，核电上网电价将有所下降，故用核电代替火电作为“稳定电源”的条件将基本具

中碳阶段第四步为“中和阶段”，力争到 2060 年把二氧化碳排放总量控制在 25 亿—30 亿吨。

在此阶段，智能化、低碳化的电力供应系统得以建立，火电装机只占目前总量的 30% 左右，并且一部分火电用天然气替代煤炭，火电排放二氧化碳力争控制在每年 10 亿吨，火电只作为应急电力和承担一部分地区的“基础负荷”，电力供应主力为光、风、核、水。

除交通和建筑领域外，工业领域也全面实现低碳化。尚有 15 亿吨的二氧化碳排放空间主要分配给水泥生产、化工、某些原材料生产和工业过程、边远地区的生活用能等“不得不排放”领域。其余 5 亿吨的二氧化碳排放空间机动分配。

“四步走”路线图只是一个粗略表述，由于技术的进步具有非线性，所谓十年一时期也只是为表述方便而划分。

03、丁仲礼：碳中和对中国的挑战和机遇

时间：2022.1.9 来源：中国新闻发布

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/7xZoE0xfTCv5xXJkSE4AKA>

中国国家主席习近平于2020年9月22日在第七十五届联合国大会一般性辩论上向世界庄严宣布：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”其后，习主席又在多个国际场合对此作出承诺，表明中国政府和中国人民言必信、行必果的决心，为国际社会合作应对全球气候变暖提供了十分强大的助力。

众所周知，化石燃料是工业革命以来人类得以发展进步的重要物质基础。在未来的发展进程中，如何逐步摆脱对化石燃料的依赖，真正向低碳社会转型，将是一项十分严峻的挑战。对中国来讲，更是如此。因为中国是工业化过程的后来者，并没有像一些发达国家那样，进入能源消耗已呈下降趋势的后工业化时期。为此，中国科学院学部组织百余位院士专家，从技术和产业层面对我国如何实现碳中和作了较为系统的研究，获得了对碳中和路线图的框架性认识。本文拟对此作一简介。

一、中国的二氧化碳排放历史和现状

人类大量利用化石燃料，向大气排放二氧化碳，是工业革命以后的事，但大气中二氧化碳浓度有实质性增加，则主要是近100年来出现的现象。中国从19世纪后半叶开始发展工业，但由于社会动荡不安，工业化进程十分缓慢，一直到新中国成立以后，才开始系统性工业化。二氧化碳排放开始进入快速增长时期，则要到1978年改革开放尤其是2001年加入世界贸易组织（WTO）以后。

我们来看国际权威数据库提供的基本信息：从1850年到2019年，全球共排放了16100亿吨二氧化碳，其中中国为2200亿吨，占13.7%，远低于我国人口在全球

的占比；而美国同期则排放了 4100 亿吨，占比高达 25%以上；七国集团（G7）国家整体上的排放量为 7340 亿吨，占比高达 45.6%，而其人口在全球占比则不到 10%。通过计算，我们可获得 1850—2019 年人均累计二氧化碳排放量（每年的人均排放之加和）：美国 2174 吨、G7 国家 1397 吨、全球 386 吨，而中国是 182 吨——只是美国的 8.4%、G7 国家的 13.0%、全球平均的 47.2%。

由此可见，中国对全球大气二氧化碳浓度增加的贡献并不高。何况中国自加入 WTO 以来，一直承担着“世界工厂”的角色，相当一部分的排放是用于生产出口产品。因此，中国绝不像一些西方报刊所描绘的那样，是“全球最大的排放国”。即使以国家作为比较单位，美国对大气二氧化碳浓度增高的历史贡献也远大于中国。如果以人均累计排放量作为评价指标，中国则远低于全球平均，而这其实是最为合理的评价指标，因为不同国家的工业化起步时间有早晚，一个国家的工业化程度、城市化程度、人民生活水平、基础设施水平等，都需要消耗化石能源来提升，都需要时间来建设，都同人口数量相关。脱离了人口、历史这两个因子，比较国与国之间的排放是毫无意义的。

但是，我们不得不承认，目前全世界每年总共排放约 400 亿吨二氧化碳，中国大约占四分之一，即 100 亿吨左右，年度人均排放已经超过全球人均水平。中国从加入 WTO 以来，二氧化碳排放量的快速增长，是同我国的压缩式发展分不开的。要发展就得增加能源消耗，在非碳能源技术尚未成熟的背景下，这就意味着排放增加。

中国目前的人均国内生产总值（GDP）刚超过 1 万美元大关。从发达国家走过的历程看，在人均 GDP 达到 1 万美元之前，人均能耗的增长非常强劲；从 1 万美元到 4 万美元，人均能耗还会缓慢增长；达到 4 万美元之后，人均能耗将处于逐渐下降阶段，当然这也可能同发达国家将高能耗、高污染产业转移到发展中国家去有关。中国力争在 2060 年达到碳中和，而从现在到 2060 年我国正处于人均 GDP 从 1 万美元到 4 万美元的奋斗过程中，人均能源消耗的继续增长是不可避免的。一些发达国家在上世纪 80 年代即达到人均能耗高峰，并且从碳达峰到碳中和至少要用 70 年时间。和他们不同，中国要从 2030 年碳达峰后，用 30 年时间完成碳中和，挑战无疑是巨大的。

那么，中国目前每年约 100 亿吨二氧化碳的排放主要来自何处？了解这一点对如何实现碳中和至关重要，这也是碳中和路线图的逻辑起点。根据国家相关统计，中国目前的一次能源消费总量约为每年 50 亿吨标准煤（编者注：一次能源是指自然界中以原有形式存在的、未经加工转换的能量资源，又称天然能源），其中煤炭、石油、天然气的占比分别为 57.7%、18.9%、8.1%，非碳能源的占比仅为 15.3%。100 亿吨二氧化碳的排放，发电（供热）占比 45%，建筑占比 5%，交通占比 10%，工业占比 39%，农业占比 1%。发电（供热）的主要终端消费者为工业（64.6%）和建筑（28%）。从以上数据可以看出，二氧化碳的终端排放源主要为工业（约占 68.1%）、建筑（约占 17.6%）和交通（约占 10.2%）。因此，实现碳中和工作的着力点也应该集中在这些领域。

二、碳中和的基本逻辑和技术支撑

碳中和的概念等同于“净零排放”，而不是二氧化碳“零排放”。净零排放的概念就是人类可以排放一定数量的二氧化碳，但这个排放量中的一部分被自然过程吸收而固定，余下部分则通过人为努力而固定（比如通过生态系统建设吸收二氧化碳，或把二氧化碳收集后转为工业品或封存于地下），排放量与固碳量相等，则为碳中和。评价一个国家、一个地区甚至一家企业碳中和与否或碳中和程度，看的就是其排放量和固碳量之比。

根据国际上过去几十年来的观测统计，人类排放的所有二氧化碳中有 54%被自然过程吸收（其中陆地吸收 31%，海洋吸收 23%），另外的 46%留在大气中，成为大气二氧化碳浓度升高的主要贡献者。海洋吸收主要通过无机过程形成碳酸钙沉积和微体生物合成碳酸钙，陆地吸收则主要通过生态系统固存有机碳和土壤/地下水吸收形成无机碳酸盐，以及在河道、河口沉积埋藏有机碳。尽管陆地吸收总量是已知的，但到目前为止，各种陆地吸收过程的相对比例并不清楚。根据中国科学院“碳收支”专项研究成果，我国通过自然保护和生态工程建设等，2010—2020 年间的陆地生态系统净固碳能力为每年 10 亿—13 亿吨二氧化碳。

根据前面介绍的排放来源和吸收过程的数据，我们可以得出结论：碳中和是一个“三端共同发力”的体系，即“发电端”用风、光、水、核等非碳能源替代煤、油、气，“能源消费端”通过工艺流程再造，用绿电、绿氢、地热等替代煤、油、

气，“固碳端”用生态建设、碳捕捉—利用—封存（CCUS）等碳固存技术，将碳人为地固定在地表、产品或地层中。这就是碳中和的基本逻辑。

一国无论是技术原因，还是市场原因，其“不得不排放”的二氧化碳总量等同于自然吸收量与人为固碳量之和，即可视为“净零排放”，实现了该国的碳中和。由此可见，有先进并廉价的技术可供这“三端”所用，是实现碳中和的前提条件。也就是说，“技术为王”将在碳中和过程中得以充分体现。下面，我们来对这“三端”体系分别作简单介绍。

（一）“发电端”之要在构建新型电力系统

我国目前的发电装机容量约为 22 亿千瓦，未来假定：（1）能源消费端要实现电力替代、氢能替代（氢气也主要产自电力）；（2）为实现人均 GDP 从 1 万美元增到 3 万—4 万美元，所需的能源明显增长；（3）风、光发电利用小时数难以明显提高，那么估计我国实现碳中和之时，总的电力装机容量会在 60 亿—80 亿千瓦之间。因此，未来新型电力系统的第一个特点是电力装机容量巨大。

第二个特点是我国十分丰富的风、光资源将逐步转变为主力发电和供能资源，这既包括西部的风、光资源，也包括沿海大陆架风力资源，更包括各地分散式（尤其是农村）的光热等资源（如屋顶和零星空地）。

第三个特点是“稳定电源”应从目前火电为主逐步转化为以核电、水电和综合互补的清洁能源为主。

第四个特点是必须利用能量的存储、转化及调节等技术，克服风、光资源波动性大的天然缺陷。

第五个特点是火电（为减少二氧化碳排放，应逐步用天然气取代煤炭发电）只作为应急电源或一部分调节电源。

第六个特点是在现有基础上，成倍扩大输电基础设施，平衡区域资源差异；并加强配电基础建设，增强对分布式资源的消纳能力。

为实现碳中和，我国拟以装机总量 60 亿—80 亿千瓦，风力发电、光伏发电共占比 70%，“稳定电源”占比 30%为目标，规划新型电力系统。在 40 年内，大致以

每十年为一期，顺次走控碳电力、降碳电力、低碳电力最后到近无碳电力之路，并完成超大规模的输变电基础设施建设。

要建立这样的新型电力系统，无论是发电，还是储能、转化、消纳、输出等，技术上都有大量需要攻克的关键环节，这将成为实现碳中和目标工作的重中之重。

（二）“能源消费端”之要在电力替代、氢能替代以及工艺重构

用非碳能源发电、制氢，再用电力、氢能替代煤、油、气用于工业、交通、建筑等领域，从而实现消费端的低碳化甚至非碳化，这是实现碳中和的核心内容。在电力供应充足和廉价的前提下，消费端的低碳化主要通过各种生产工艺流程的再造来完成。

消费端的排放大户是工业、交通、建筑三个领域，工业领域的排放大户是钢铁、建材、化工、有色四个产业。

从现有技术分析，交通的低碳化甚至非碳化较易实现，即轨道交通和私家车可用电力替代，船舶、卡车、航空可部分用氢能替代。这里关键处是建设私家车的充电体系，建设从制氢到输运再到加氢站的完整体系，当然还有如何保证经济、安全运行等问题。

建筑领域的低碳化技术亦基本具备，大致可考虑以下途径：城市以全面电气化为主，加上条件具备的小区以电动热泵（地源热泵、空气源或者长程余热）为补充，少部分情况特殊者可部分利用天然气；农村则以屋顶光伏+电动热泵+天然气+生物沼气+输入电力的适当组合为主。

以上两大领域去碳化的关键是政府与市场做好协调，并以合适节奏推广之。

目前，工业领域的钢铁、建材、化工、有色产业还没有用电力、氢能替代化石能源的成熟技术，虽然从理论上讲是可以实现的，但仍需技术层面变革性的突破和行业间的协调。事实上，国内外一些企业与研发单位在氢能+电力+煤炭的“混合型”炼铁（如氢冶金）上已有较为成功的先例。从工艺流程再造看，不同工业过程既可考虑先走低碳化的“混合型”再到无碳化的“清洁型”，也可考虑一步取代到位。

由此可见，能源消费端的“替代路线”亦需研发大量新技术并布局大量新产业。

需要说明的是，水泥一般用石灰石做原料，煅烧过程中不可能不产生二氧化碳，这部分如得不到捕集利用，当在“不得不排放”的二氧化碳之列。此外，煤、油、气作为资源来生产基础化学品、高端材料、航油等，其开采—加工—产品使用的全生命周期中也存在“不得不排放”的二氧化碳。

从以上两部分的分析看，无论是发电端还是能源消费端，到 2060 年都会有相当数量的碳排放存在，需要其他技术予以中和。

（三）“固碳端”之要在生态建设

学术界对固碳方式已有过很多研究，主要分六大类。第一类是通过对退化生态系统的修复、保育等措施，增强光合作用并将更多碳以有机物的形式固定在植物（尤其是森林）和土壤之中。这是最重要的固碳过程。2010—2020 年间，我国陆地生态系统的净固碳能力约为每年 10 亿—13 亿吨二氧化碳。第二类是从烟道中收集二氧化碳，制成各类化学品和燃料，或者用于藻类养殖，形成生物制品。第三类是收集二氧化碳气体，用于油田驱油、驱气过程。第四类是收集二氧化碳，制成碳化水泥。第五类是收集二氧化碳后，封存于地层之中。第六类是生物质燃料利用、采伐树木及秸秆等闷烧还田等。

由于生态建设是“国之大者”，而后面五类“碳固存技术”的应用均需额外耗能，且未必经济合算，因此，固碳端的工作当首先聚焦于生态建设。在 2060 年之前，对非生态碳固存技术先做深入研究和技術储备，力争掌握知识产权和工程技术，大幅度降低成本；临近 2060 年时，根据我国“不得不排放”的二氧化碳量和生态固碳贡献状况，再相机推动这些技术的应用。

位于伊吾县淖毛湖镇戈壁滩上的新疆首座光热发电站——哈密 50 兆瓦熔盐塔式光热发电站 视觉中国 / 供图

三、中国碳中和需制定分阶段实施方案

在已有的经济社会发展逻辑之下，不管是由于技术上不具备还是经济上不合算，到本世纪中叶，一定会产生一部分“不得不人为排放”的二氧化碳。因此，我们在对标碳中和时，首先要搞清楚一个问题：我们减排到什么程度，即可达到碳中

和？

过去的全球碳循环数据表明，人为排放二氧化碳中的 54% 被陆地和海洋的自然过程所吸收，假定未来几十年碳循环方式基本不变，尤其是海洋吸收 23% 的比例不变，则各国排放的留在大气中的 46% 那部分应该是“中和对象”。但事实上，陆地吸收的 31%，一部分是通过生态过程，一部分是通过其他过程，二者之间的比例目前尚未研究清楚。根据相关研究，2010—2020 年间我国陆地生态系统每年的固碳量为 10 亿—13 亿吨二氧化碳。一些专家根据这套数据采用多种模型综合分析后，预测 2060 年我国陆地生态系统固碳能力为 10.72 亿吨二氧化碳/年，如果增强生态系统管理，还可新增固碳量 2.46 亿吨二氧化碳/年，即 2060 年我国陆地生态系统固碳潜力总量为 13.18 亿吨二氧化碳/年。

根据以上分析，如果我国 2060 年排放 25 亿—30 亿吨二氧化碳，则海洋可吸收 5.75 亿—6.9 亿吨，生态建设吸收 13 亿吨，陆地总吸收的 31% 中，生态吸收以外的其他过程如果占比 17%，则为 4.25 亿—5.1 亿吨，那么吸收总数将在 23 亿—25 亿吨之间；在此基础上，如果发展 5 亿吨规模的 CCUS 技术固碳，则大致能达到碳中和。

如果我们将 2060 年“不得不排放”的二氧化碳设定为 25 亿—30 亿吨，则需要目前在 100 亿吨的基础上减排 70%—75%，挑战性非常之大。这就需要制定分阶段减排规划。理论上讲，我国可考虑“四步走”的减排路径，从现在起用 40 年左右的时间达到碳中和目标。

第一步为“控碳阶段”，争取到 2030 年把二氧化碳排放总量控制在 100 亿吨之内，即“十四五”期间可比目前增一点，“十五五”期间再减回来。在这第一个十年中，交通领域争取大幅度增加电动汽车和氢能运输占比，建筑领域的低碳化改造争取完成半数左右，工业领域利用煤+氢+电取代煤炭的工艺过程完成大部分研发和示范。这十年间增长的电力需求应尽量少用火电满足，而应以风、光为主，内陆核电完成应用示范，制氢和用氢的体系完成示范并有所推广。

第二步为“减碳阶段”，争取到 2040 年把二氧化碳排放总量控制在 85 亿吨之内。在这个阶段，争取基本完成交通领域和建筑领域的低碳化改造，工业领域全面推广用煤/石油/天然气+氢+电取代煤炭的工艺过程，并在技术成熟领域推广无碳

新工艺。这十年，火电装机总量争取淘汰 15% 的落后产能，用风、光资源制氢和用氢的体系完备并大幅度扩大产能。

第三步为“低碳阶段”，争取到 2050 年把二氧化碳排放总量控制在 60 亿吨之内。在此阶段，建筑领域和交通领域达到近无碳化，工业领域的低碳化改造基本完成。这十年，火电装机总量再削减 25%，风、光发电及制氢作为能源主力，经济适用的储能技术基本成熟。据估计，我国对核废料的再生资源化利用技术在这个阶段将基本成熟，核电上网电价将有所下降，故用核电代替火电作为“稳定电源”的条件将基本具备。

第四步为“中和阶段”，力争到 2060 年把二氧化碳排放总量控制在 25 亿—30 亿吨。在此阶段，智能化、低碳化的电力供应系统得以建立，火电装机只占目前总量的 30% 左右，并且一部分火电用天然气替代煤炭，火电排放二氧化碳力争控制在每年 10 亿吨，火电只作为应急电力和承担一部分地区的“基础负荷”，电力供应主力为光、风、核、水。除交通和建筑领域外，工业领域也全面实现低碳化。尚有 15 亿吨的二氧化碳排放空间主要分配给水泥生产、化工、某些原材料生产和工业过程、边远地区的生活用能等“不得不排放”领域。其余 5 亿吨的二氧化碳排放空间机动分配。

“四步走”路线图只是一个粗略表述，由于技术的进步具有非线性，所谓十年一时期也只是为表述方便而划分。

内蒙古草原上风力涡轮机和太阳能电池板，实现碳中和需发挥我国的制度优势 2060 年实现碳中和，对我国固然是一个非常严峻的挑战，但我们也应看到，这中间蕴含着巨大的机遇。

首先，我国尽管煤炭资源相当丰富，但油气资源不足，大量进口油气资源又面临地缘政治上的风险，而煤炭作为一种十分宝贵的资源，当作燃料用于发电、供热，确实是“大材小用”，况且煤炭燃烧时所排放的硫化物、氮氧化物和粉尘对大气环境有明显破坏作用。我国如能够大规模利用可再生能源而逐渐摆脱对煤炭的依赖，将在资源和环境两大方面收获实实在在的好处。

其次，我国的风、光资源相当丰富，有专家曾做过测算，如果能把鄂尔多斯高原、

阿拉善高原、柴达木盆地这 60 多万平方千米的干旱区的一半区域覆盖上太阳能电池板，就能够满足全国的能源需求。实践证明，太阳能电池板安装以后，对干旱区的生态恢复大有帮助。也就是说，在干旱区建太阳能发电站，将在清洁能源和生态恢复两方面获得效益。

再次，我国在非碳能源领域的技术相对先进，包括太阳能发电技术、核能技术、储能技术、特高压输电技术等。举个例子，一些国家对我国的太阳能电池板设置 100% 的关税，一方面说明他们实施贸易保护主义，违反 WTO 规则；另一方面则说明了我们在这个领域中的绝对领先地位。在全世界的绿色转型大潮中，我们的绿色技术将支撑新兴产业的发展，成为经济增长的新动能，并为我国的民族复兴大业提供强大助力。

因此，实现碳中和，并不全是国际社会强加于我们的事情，也是我国经济社会发展到一定程度之后的内在要求。当然，在这样广泛而深远的绿色转型中，我们一定要自己掌握自己的节奏，不能引起能源短缺危机；同时，也要使能源的价格保持在相对低廉的水平，既给老百姓的生活带来真真切切的便利，又能使我们的制造业继续在上世界上保持足够竞争力。

碳中和要求经济社会大转型，涉及广阔的领域，需要在党和政府的坚强领导下，发挥出全国一盘棋的体制性优势。其中，有三个方面需要做好协调。

一是统筹全国的研发力量，形成一个完整的、有足够竞争力的研发体系。从前面的介绍即可看出，碳中和说到底是技术为王，只有靠先进的技术才能获得产业的竞争力。我国有一支庞大的围绕绿色产业的科技研发队伍，各个领域都有专门人才和研究团队。未来我们需要进一步协调和优化的工作是在国家规划目标的引领下，把这些团队和人才组织起来，把不足的研发短板补齐，形成一个以目标为导向的研发网络或责任体系，从而支撑与碳中和相关的产业健康有序发展。

二是在向碳中和目标挺进的过程中，政府和市场要做好协调，扮演好各自的角色，从而做到“两只手”均发挥出最大效能。据估计，我国实现碳中和，需要百万亿人民币数量级的投资，绝非政府一家能够单独提供，投资主体还是应该来自市场。但在引导投资过程中，政府可在法律、行政法规、税收、补贴、产业政策、碳配额投放、绿色金融政策等方面发挥十分有力的作用。回想十几年前，我国政府以

《可再生能源促进法》为依据，推动光伏发电、风力发电、储能技术、电动汽车等产业的迭代进步，现在已收到十分明显的成效。以光伏发电为例，十年前尚需对上网电价提供高额补贴，现在已经可以竞争平价上网。这是政府和市场形成合力的典型案例，也是我们未来必须坚持发挥的体制优势。

三是在构建人类命运共同体的旗帜下，做好国际合作。技术、产业都需要开放的环境，都需要在交流的过程中发展进步，因此在政府的推动下，做好科技界和产业界的国际合作工作，是我国实现碳中和的重要保证。

04、技术为王将在碳中和过程中得到完全体现

时间：2021.9.26 来源：北京日报

原文链接：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1711964398069460029>

“碳中和”是本届中关村论坛的重要主题之一。在 26 日举行的平行论坛“碳达峰碳中和科技论坛”上，中国科学院院士丁仲礼表示，碳中和目标给科技界带来新的考验，针对未来需求，要真正进行原始创新、颠覆性创新；与此同时，碳中和过程将会是经济社会的大转型，需要在能源结构、能源消费、人为固碳“三端发力”。

在主旨演讲中，丁仲礼抛出了一组数据：目前全球每年约排放 401 亿吨二氧化碳，其中 86%源自化石燃料利用，14%由土地利用变化产生。排放出来的这些二氧化碳，大约 46%留在大气，23%被海洋吸收，31%被陆地吸收。丁仲礼解释，碳中和就是要想办法把原本将会滞留在大气中的二氧化碳减下来或吸收掉，当前我国还处于产业结构调整升级以及经济增长进入新常态的阶段，排放量逐步进入“平台期”，面临的挑战还很艰巨。

要实现“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的战略目标，需要科学规划和强大技术支撑。针对碳中和问题中的科技需求，中国科学院学部设立了重大咨询项目“中国碳中和框架路线图研究”，项目按照排放端、固碳端、政策端三方面组织实施，围绕非碳能源技术研发迭代需求等九

个专题开展研究。

作为该项目主要牵头人之一，丁仲礼概括提出了“三端发力”的体系。其中，第一端是能源供应端，尽可能用非碳能源替代化石能源发电、制氢，构建“新型电力系统或能源供应系统”；第二端是能源消费端，力争在居民生活、交通、工业、农业、建筑等绝大多数领域中，实现电力、氢能、地热、太阳能等非碳能源对化石能源消费的替代；第三端是人为固碳端，通过生态建设、土壤固碳、碳捕集封存等组合工程去除不得不排放的二氧化碳。“简言之，就是选择合适的技术手段实现减碳、固碳，逐步达到碳中和。”丁仲礼说。

丁仲礼认为，“技术为王”将在实现碳中和的进程中得到充分体现，国家要力争以技术上的先进性获得产业上的主导权。他说，科技界要转变思维方式，从传统的引进、吸收、再创新，转到真正进行原始创新、颠覆性创新。同时，政府、科技界、产业界要共同研究、广泛参与，把全国的研发力量组织起来，分工协作，组建技术联盟，头部企业牵头提出需求，大学和科研院所承担攻坚任务，为产业落地提供支撑。

降碳还需要国际合作和国际共识。丁仲礼指出，中国要在“固碳量”“中和程度”上争取话语权，在核心问题上要有自己的结论。针对我国“碳收支”状况，应尽早建立系统的监测、计算、报告、检验的标准体系，“实现碳中和，需要大量培养会计算碳收支账的人才。”

“实现‘双碳’目标需要经济社会发展的全面绿色转型，涉及能源结构、工业交通、生态建设等各领域，迫切需要发挥科技创新在其中的引领和支撑作用。”中国科学院院长侯建国表示，要拿出一张路线图，解决碳达峰碳中和的实现路径问题；提出一批新理论，突破降碳固碳的原理问题；攻克一批新技术，解决减排增汇的工艺和装备问题；记好一本收支账，解决碳源碳汇的监测核算问题。

05、聚焦碳中和议题 需要市场和政府两只手形成合力

时间：2022.7.1 来源：中国青年网

原文链接：

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1737149980874130049&wfr=spider&for=pc>

报告会上，丁会长从深刻剖析中国能源结构及碳排放现状入手，指出中国能源结构和能源禀赋以煤炭为主、制造业规模庞大、压缩式发展等因素导致产生较高的碳排放，重点阐述了中国实现碳中和目标的科学逻辑——中国要实现碳中和目标必须“三端共同发力”：第一端是能源供应端，要尽可能用非碳能源替代化石能源发电、制氢；第二端是能源消费端，要力争在绝大多数领域实现电力、氢能、地热等对化石能源消费的替代；第三端是固碳端，要通过生态建设、碳捕集-利用-封存等方式去除“不得不排放”的二氧化碳。在此逻辑基础上，中国的碳中和目标可分“四步走”实现：大概以每10年为一个台阶，逐步降低二氧化碳排放总量，从“控碳阶段”到“减碳阶段”再到“低碳阶段”，最终达到“碳中和”。

丁会长强调，在实现碳中和过程中应注意以下一些关键点：推动“三端共同发力”，需要政府和市场“两只手”形成合力，鼓励竞争，稳步推进；“技术为王”将在碳中和进程中得到充分体现，在未来国家创新体系中形成布局完善、责任明确的技术研发体系，需要政府、科技界、产业界共同研究、广泛参与；在实现大转型的过程中，各行业协调共进极其重要，分行业设计碳中和路线图及有效的激励约束制度需尽早完成；同时，针对我国“碳收支”状况，应尽早建立系统的监测、计算、报告、检验标准体系，保证“话语权在我”。

在聆听丁会长的报告后，与会人员一致认为：广大留学人员要牢记总书记嘱托，心系“国家事”，肩扛“国家责”，抓住科技创新这个“牛鼻子”，把自身专业优势、智力优势、资源优势转化为落实新发展理念、构建新发展格局的具体行动，为我国尽快取得绿色科技革命的产业主导权攻坚克难，要聚焦“面向碳中和目标的技术研发体系”，在经济社会系统性转型中建功立业；要聚焦讲好中国“双碳”

故事，以事实驳斥“中国的减排承诺力度不够”等抹黑舆论，用外国民众听得到、听得懂、听得进的途径方式，生动阐释中国文明理念，讲述具有中国特色的绿色低碳高质量发展的故事，在向世界展示可信、可爱、可敬的中国形象中，不断拓展对外话语的主导权，展现新时代留学人员的责任与担当。

据悉，“欧美同学会大讲堂”是欧美同学会在坚持和巩固近年来思想引领工作成果和品牌基础上，根据《欧美同学会（中国留学人员联谊会）2022年工作要点》重点推出的新品牌活动。首场“欧美同学会大讲堂”结束后，还将有系列活动陆续举办。

06、坚持全国一盘棋 找出碳达峰碳中和的科技“最优解”

时间：2021.9.27 来源：科技日报

原文链接：

<http://www.xinhuanet.com/energy/20210927/1248924bd91249fa8677c307e65dee62/c.html>

“表面看，碳达峰碳中和与能源有关系，我国的能源结构不理想，但由于能源跟国民经济的各个行业都有关系，所以碳达峰碳中和是一个综合性的跨行业、跨领域的事情，是国家层面的涉及各个方面的大事情。”9月26日，在2021中关村论坛碳达峰碳中和科技论坛上，中国工程院院士刘中民说道。

碳中和是2021中关村论坛的核心议题之一。碳达峰碳中和科技论坛聚焦碳中和科技创新路径，旨在理清双碳目标下我国未来经济社会发展需求和科技路线布局，实现跨领域综合交叉，突破技术瓶颈。论坛上多位院士专家从科学技术、产业转型出发，结合具体国情为双碳目标建言献策。

碳达峰碳中和要发挥科技创新的支撑作用

在论坛致辞中，中国科学院院长、党组书记侯建国指出，实现双碳目标需要经济

社会发展的全面绿色转型，涉及能源结构、工业交通、生态建设等各领域，迫切需要发挥科技创新在其中的引领和支撑作用。

刘中民也持有类似的看法。“我们要坚持全国一盘棋，调动各方面积极性，打破行业壁垒来实现碳达峰碳中和。科技创新对实现碳达峰碳中和至关重要。”刘中民说，没有科技创新，碳达峰碳中和很难实现，必须要有新技术来支撑碳达峰碳中和。

“碳达峰碳中和，对我们国家确实是一个极大的挑战。”刘中民坦言。但是，挑战里也有机遇。实现碳达峰、碳中和，是我国新一轮产业结构升级的机会。

“如果我们抓住机遇，把我国的能源结构和工业结构调整到位，我相信我们将比西方发达国家的工业结构更先进更合理。”刘中民强调。

因此，侯建国强调，要拿出一张路线图，解决碳达峰碳中和的实现路径问题；提出一批新理论，突破降碳固碳的原理问题；攻克一批新技术，解决减排增汇的工艺和装备问题；记好一本收支账，解决碳源碳汇的监测核算问题。

在刘中民看来，在实现碳中和、碳达峰的过程中，必须重视一些具有战略意义的新技术发展，比如人工智能、信息技术和数字技术等。

同时，刘中民认为，我国需要大力发展储能和氢能技术。“发展储能平台，以汇聚不稳定的可再生能源，如果能够建立起国家级的储能平台，让可再生能源平稳地进入国家电网系统，这将在很大程度上帮助可再生能源的发展。”刘中民说，我国也需要发展产氢和用氢的氢能平台，氢与能源产业链上游产生二氧化碳的环节进行耦合，可以实现碳减排；直接与二氧化碳反应，可以生产能源产品或载能产品。

“一盘棋式”组织全国研发力量

在主旨报告中，中科院院士丁仲礼指出，碳中和目标对科技界提出了新考验。实现碳中和，要从能源生产、能源消费和固碳“三端发力”，“技术为王”是鲜明特征；要从“引进、吸收、再创新”的传统创新模式向原始创新、颠覆性创新转变，勇于针对未来需求，主动开展有较高失败风险的探索。

丁仲礼表示，要“一盘棋式”组织全国研发力量，建立技术联盟，明确责任体系，开展技术攻关，支撑产业先进性，形成强大的国家竞争力。同时，要与乡村振兴、美丽中国等国家战略相结合，通过生态建设提升我国固碳能力；要深入研究碳排放相关的核心科学问题，争取“固碳量”和“碳中和”的话语权；要关注并算清全球以及各国的“收支账”，为我国在全球气候变化的国际合作和谈判提供有力支撑。

中国科学技术协会党组书记、分管日常工作副主席、书记处第一书记张玉卓在致辞中指出，在碳达峰碳中和进程中，工业转型是关键，需要实现能源和产业结构系统性变革。一是要有序减碳，确定碳排放的顶点和峰值，从国家层面研究能源结构；二是要大力发展 CCUS 技术，促进二氧化碳的资源化利用；三是树立全民低碳意识，汇聚建设美丽中国的强大合力；四是要推进全球气候治理科技合作，主动参与制定国际标准，发起国际科技合作，共促世界可持续繁荣。

论坛上，中国工程院院士杜祥琬从构建以新能源为主体的新型电力系统的角度，为碳达峰碳中和出谋划策。

杜祥琬认为，构建以新能源为主体的新型电力系统是完全可能的。“概括起来说，纵向的发、输、配、用和源、网、荷、储协调规划，横向多能互补，发展多种类型的商业化的储能技术，调动各种灵活性资源，建设新能源为主体的新型电力系统是完全可能的。”杜祥琬说，它的目的在于安全、可靠、灵活的供电，在极端情况下，包括极端天气情况下，要保证供电的安全，在常态下确保我们经济社会的正常运行。

07、聚焦“碳达峰”“碳中和”：空间遥感技术来了！

时间：2021.9.26 来源：北京日报

原文链接：

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1711927286640912754&wfr=spider&for=pc>

“碳达峰、碳中和”国家战略和空间遥感技术高峰论坛近期在中国航天科技集团五院举行。会议聚焦“碳达峰、碳中和”（双碳）国家重大战略目标，汇聚碳遥感及应用领域领军专家和团队，共议“双碳”遥感监测体系与应用技术发展。我国“双碳”领域权威专家中国科学院院士丁仲礼、中国工程院院士王金南，我国航天领域专家、中国科学院院士叶培建、王巍、杨孟飞，以及来自中国科学院、国防科工局、自然资源部、生态环境部、国家林业和草原局、中国林业科学研究院等单位的专家出席此次论坛。

叶培建表示，“双碳”问题是当前人类面临的最重要问题之一，要通过此次大会，共商我国碳排碳汇空间遥感监测体系的建设，集中优势助力碳监测遥感领域再攀高峰。王巍表示，此次大会汇聚了国内研究力量，促进专家间的交流与合作，要依靠技术的力量，为我国实现“双碳”目标提供支撑。

丁仲礼以《碳中和：三端发力体系及技术需求》为题作大会报告。他建议，针对我国“碳收支”状况，应尽早建立系统的监测、计算、报告、检验的标准体系，保证“话语权在我”。“双碳”目标实现需要政府和市场“两只手”合力推动；王金南以《中国碳达峰碳中和路径与对策》为题作大会报告，建议要让数字产业为碳达峰、碳中和赋能增绿，发展气候模式和碳循环模拟预测、温室气体排放监测核算技术，建立较为可靠、长时间序列的中国温室气体/二氧化碳排放数据集，支撑城市碳排放管理和“双碳”规划。

针对专家们的建议，航天科技集团五院遥感卫星总体部卫星总设计师曹海翊给出了回应。曹海翊在大会上以《空间遥感技术助力“双碳”目标》为题作报告，表示在碳监测上，天基遥感具有独特优势。宏观上可以“一把尺子量全球”，使我国掌握气候协商主动权，建设性参与全球环境治理，也能有效助力政府掌握碳源汇动态，实现发展决策和过程管控。微观上，通过遥感卫星“巡天督察”能够发现违排、毁林等具体问题，切实服务于“碳达峰、碳中和”各项举措落地。

近年来，“碳达峰”、“碳中和”已经成为关乎国计民生的热词。我国将力争2030年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。专家表示，“减排、增汇”是实现“碳达峰”、“碳中和”目标的核心，必须协同并举。在此基础上，还需加强我国基于碳监测数据的碳排放、碳汇核算，以掌握碳排放、

碳汇现状和变化，满足国家生态建设和生态监管的双重需要；对外，应对国际气候谈判，做到碳排放数据“可测量、可报告、可核查”。

据媒体报道，我国在 2016 年成功发射了中国碳卫星（TanSat），成为国际第三颗温室气体卫星，用于全球大气二氧化碳浓度监测。

“对‘双碳’目标的监测，在关注温室气体浓度之外，亟需掌握导致浓度变化的碳排放和碳汇过程动态，有效支撑气候治理各项部署。”航天科技集团五院遥感卫星总体部卫星总设计师曹海翊介绍，“当前我国已经突破了温室气体、陆地碳汇等方向定量遥感技术，正在推进我国自主的天基碳监测体系规划和系统论证，发展多尺度、多维度各型卫星系统，分阶段部署、组网运行，协同服务‘双碳’监测整体目标。”

08、碳中和目标，对科技界提出了新考验

时间：2021.10.03 来源：新材料情报

原文链接：<https://ecep.ofweek.com/2021-10/ART-93000-8500-30528041.html>

9月26日，在2021年中关村论坛“碳达峰碳中和科技论坛”上，全国人大常委会副委员长、中国科学院院士丁仲礼在主旨报告中指出，实现碳中和，要从能源生产、能源消费和固碳“三端发力”，其中“技术为王”是鲜明特征。

如何聚焦“碳中和科技创新路径”？如何厘清在“双碳”目标下我国未来经济社会发展需求和科技路线布局？如何突破碳中和技术瓶颈，实现跨领域综合交叉？这天，从能源到工业再到生态环境等领域全球知名专家汇聚中关村，聚焦科技前沿，共谋双碳创新蓝图。

瞄准 2060 年排放总量控制来设计路线图

中国科学院大连化学物理研究所所长、青岛生物能源与过程研究所所长刘中民告诉中青报·中青网记者，二氧化碳、甲烷等温室气体的排放量与自然界、人为吸收量达到一种平衡的状态，可称为碳中和。

“双碳行动”是应对气候变暖的国际行动之一。欧盟国家作为“碳中和”的首倡者，提出要在 2050 年达到碳中和。我国承诺，二氧化碳排放量力争在 2030 年前达到峰值，在 2060 年前实现碳中和。

我国要实现“碳达峰”“碳中和”，无疑是一场硬仗。在论坛上，丁仲礼提到，假设中国每年不得不排放 25—30 亿吨的二氧化碳，具体到电力系统每年为 10 亿吨，工业上为 10 亿吨 / 年，水泥则达到 5 亿吨 / 年，其他的需要排放 0—5 亿吨 / 年。

从吸收端来看，丁仲礼假设海洋吸收 23% 的二氧化碳，陆地无机过程吸收 17%，则可以吸收 10—12 亿吨 / 年，另外从陆地生态系统来看，每年可吸收 10—13 亿吨，经过生态管理可增加到 15 亿吨，再加以 CCUS 技术（碳捕获、利用与封存是应对全球气候变化的关键技术之一，记者注），可每年固存 5 亿吨二氧化碳。

“我们认为中国的碳中和目标应该是瞄准 30 亿吨二氧化碳的 2060 年排放总量控制，来设计我们的路线图，来设计我们的体系。”丁仲礼说。

对于“碳中和”，他分享了一个基本判断：碳中和是经济社会的系统性转型，“技术为王”将作为鲜明特色，以技术支撑产业转型。

“科技战略是‘双碳’战略的重中之重。”在中国工程院院士、中国工程院原副院长谢克昌看来，科技和工程可直接改变能源与碳排放的关系，科技战略等于双碳战略。

“先立后破”促进建设性能源转型

中国的煤电之争由来已久。

将来用不用燃油车？煤炭到底清洁不清洁？清洁高效利用的煤炭是不是属于清洁能源？谢克昌认为，需要建立一个以能源为核心，并广泛关联经济、社会、气候、生态、环境、科技等维度的开放性的大数据体系，即泛能源大数据，帮助破解能源在发展中遇到的问题。

在论坛上，一个观点是：“碳中和”趋势下“旧”能源要循序渐进削减甚至淘汰。

刘中民提到，在碳中和的新趋势下，减少化石能源的使用，增加可再生能源和清

洁能源在能源结构中的占比，“是一进一退的事儿”，以化石能源为代表的“旧”能源，要循序渐进削减使用甚至淘汰，这一过程中一定要平衡好不同能源的关系。

“未来必须要开发光伏、风能、水能等新能源，满足工业结构调整、社会发展的需求，完成系统性的能源替换过程。”刘中民说。

但需要警惕有可能发生的风险，谢克昌在论坛上提到，要警惕急功冒进减碳操作引发的经济刚性破坏，警惕时时、事事、处处减碳操作引发的社会不公，警惕无视“双碳”科学性的“摊派式”减碳等系列风险，“节能降耗是减排第一要务，煤炭在未来较长时间内是我国主体能源，但需与其他能源协同共济。”

中国工程院院士、中国工程院原副院长杜祥琬则认为，在高效、清洁化出力发电的同时，应有序安排煤电机组的灵活性改造，参与深度调峰，确保机组安全运行，提高电力系统的灵活性。

“‘先立后破’的含义之一，就是建设性的电源转型。”杜祥琬说。

在论坛上，他分享了一则德国的案例：曾有一次发生过日全食，德国的光电设备无法发电。德国以10%的电厂作为备用应急电源，用户可由大数据提供的各种电源出力情况的预测，选择电源，缓解了储能，“在多能互补的条件下，可以通过电力交易市场解决调峰问题。”

实现“碳中和”要“全国一盘棋”

“从碳中和来看，海洋和陆地的自然过程吸收部分是‘天帮忙’，而国土内生态固碳部分是‘人努力’的成效。”丁仲礼说。

在论坛上，中国科学院院士、中国科学院地理科学与资源研究所研究员于贵瑞介绍，目前碳中和的人为措施有四大类，分别是“减排”，能源转型，工业减排；“增汇”，实现生态工程的“增汇”；“保碳”，做好自然生态的保护；“封存”，利用生物—工程技术完成碳封存。

在未来的路线图上，碳中和是一个“三端发力”的体系。丁仲礼在主旨报告中提出，第一端是电力端，用风、光、水、核等非碳能源替代煤、油、气。第二端则是能源消费端，用电力、氢能、地热等替代煤、油、气，第三端则是固碳端，用

生态建设、CCUS 等碳固存技术应用而将碳固定在地表、产品或地层中。

“研发力量作‘一盘棋’式组织，把全国的相关力量组织起来，既分工又协作，形成一个严密的责任体系，为产业落地提供支撑。”丁仲礼建议，要建立技术联盟，明确责任体系，开展技术攻关，支撑产业先进性，形成强大的国家竞争力。此外还要与乡村振兴、美丽中国等国家战略相结合，通过生态建设提升我国固碳能力。

我国发电和工业行业排放二氧化碳占全国二氧化碳排放量的约 80%，在能源和工业突围上，中国科学院能源研究已经取得突破进展，如：合成气直接制低碳烯烃、第三代甲醇制烯烃、甲醇制乙醇、百兆瓦级压缩空气储能系统、百兆瓦级全钒液流储能系统、张家口黄帝城小镇 100%可再生能源示范、液态阳光燃料合成等。

实现“双碳”目标需要经济社会发展的全面绿色转型，涉及能源结构、工业、交通、生态建设等各领域，迫切需要发挥科技创新在其中的引领和支撑作用。在论坛上，中国科学院院长、党组书记侯建国建议，拿出一张路线图，解决碳达峰碳中和的实现路径问题，还要提出一批新理论，突破降碳固碳的原理问题，攻克一批新技术，解决减排增汇的工艺和装备问题。此外记好一本“收支账”，解决碳源碳汇的监测核算问题。

09、碳中和：经济社会系统性转型

时间：2021.6.25 来源：地球与空间科学学院

原文链接：

<https://news.pku.edu.cn/xwzh/b881774c6be04cb9a8551fa694a88e3a.htm>

2021 年 6 月 22 日，中国科学院院士丁仲礼在北京大学英杰交流中心作名师讲堂报告——“碳中和：经济社会系统性转型”。报告之前，校党委书记邱水平会见了丁仲礼院士。报告会由北京大学能源研究院院长金之钧院士主持。来自中国石化集团经济技术研究院有限公司、中国石油勘探开发研究院、中国石化勘探开发

研究院、中国科学院地质与地球物理研究所、中国石油长庆油田、中国石油大学（北京）、中国石油大学（华东）、北京大学地球与空间科学学院、光华管理学院、工学院、环境科学与工程学院、城市与环境学院等 300 多名专家和师生听取了报告。

丁仲礼指出，中国要实现碳中和，需注重在发电端、能源消费端、固碳端“三端发力”。在发电端，需要用清洁能源替代化石能源发电，构建“新型电力供应系统”；在能源消费端，要在终端各领域实现电力、氢能、地热等非碳能源对化石能源消费的替代；在固碳端，通过生态建设、土壤固碳、CCUS 等技术移除“不得不排放的 CO₂”。对于如何推动“三端发力”，丁仲礼指出，政府、市场应形成合力，即政府应促进大学、科研机构和企业形成协同开发的系统布局，不断推动技术进步，在此基础上引导市场主体参与竞争，并考虑通过税收手段实现产业协调共进。

丁仲礼认为，我国碳中和机遇与挑战并存，碳中和既是加强全球合作的机会，也是制约各国发展的利益博弈。基于上述判断，丁仲礼提出五个方面的初步看法：一是迈向碳中和进程中，“技术为王”将得到充分体现，我国需要积极研究谋划碳中和技术方案，力争获得主动权；二是在碳中和方面，政府财政资金应聚焦于鼓励技术研发和产业示范，同时应防止能源价格明显上涨；三是国家有关部门在确定路线图的问题上可考虑经历一段“百家争鸣”时期，不要急于收口；四是重点关注行业内协调共进，避免出现“劣币驱逐良币”现象；五是国家应尽早建立系统的碳收支监测、计算、报告、检核的标准体系以便从收支两端计量国家、区域、行业、企业的“碳中和程度”。

与会师生与丁仲礼进行了深入互动，进一步就碳中和政策的国际比较、路径以及如何制定中国的碳中和政策进行了热烈探讨。

10、实现“碳中和”需以市场机制为基础，技术迭代为前提

时间：2021.6.04 来源：中国新闻周刊

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/uf9QwSYo9sGh8kbKwfyMPA>

两年一度的两院院士大会上周刚刚落下帷幕。5月30日，在随后举行的中国科学院学部第七届学术年会上，中科院院士丁仲礼作了题为《中国“碳中和”框架路线图研究》的学术报告。该报告是对中科院学部设立的重大咨询项目“中国碳中和框架路线图研究”的最新研究汇总。2030年的碳达峰目标迫在眉睫，但从长期来看，中国是否能真正实现低碳转型，更大的挑战指向了2060年的“碳中和”目标。

就在院士大会开幕两天前，碳达峰碳中和工作领导小组第一次全体会议在北京召开，中共中央政治局常委、国务院副总理韩正在会上强调，推进碳达峰、碳中和工作，要坚持问题导向，深入研究重大问题，研究提出有针对性和可操作性的政策举措。

丁仲礼是中科院学部的“碳中和路线图”项目牵头人之一，他在学部年会上指出，“碳中和”过程既是挑战又是机遇，将会是一场涉及广泛领域的大变革。应该设计怎样的路线图才能让中国更好、更快地走向“碳中和”？如何真正实现能源结构转型？政府应该在这个过程中扮演什么角色？疫情后新增的火电项目何去何从？针对这些问题，《中国新闻周刊》日前专访了丁仲礼。

中国新闻周刊：“碳中和”框架路线图项目分解成九个专题展开研究，分别是：未来能源消费总量预测、非碳能源占比阶段性提高途径、不可替代化石能源预测、非碳能源技术研发迭代需求、陆地生态系统固碳现状测算、陆地生态系统未来固碳潜力分析、碳捕集利用封存技术评估、青藏高原率先达标示范区建议，以及政策技术分析研究。分成这9个专题的主要考量是什么？

丁仲礼：这九个专题的设定，主要是围绕“三端发力”。首先是发电端，核心在于增加非碳能源和减少火电，这是“碳中和”路线图中最重要的一条主线，也就是能源结构转型，最终要回答一个问题：我们应该如何走向低碳、甚至无碳的电力系统。

第二是消费端，逐渐实现电力替代、氢能替代，涉及到居民生活、交通、农业、

工业等各领域。2019 年，我国化石能源利用排放的二氧化碳是 98.26 亿吨，其中发电端排放占了 47%，消费端排放占了 53%。发电和消费这两端必须共同“发力”，才能真正实现降碳。

第三是固碳端，因为即使到了 2060 年，我们也不可能完全不排放二氧化碳，所以必须要考虑如何把这些不得不排放的二氧化碳固定下来，包括如何通过生态建设让陆地生态系统增加碳汇，如何实现工程封存固碳等。这是一个很大的系统工程。

中国新闻周刊：具体到发电端和消费端，在提升非碳能源占比的过程中，中国当下面临的主要挑战和制约性因素都有什么？

丁仲礼：在发电端，主要存在两个问题。首先是如何进一步发展核电。核电输出稳定、清洁、高效，是非常好的基荷电源。2019 年，核电以 2.42%的装机总量供应了全国 4.88%的电力，未来还有很大的发展潜力。核电发展最大的制约因素之一，是老百姓十分担心邻近核电站的安全问题。但据我了解，目前全世界一共只发生过三次严重的核电站事故，都是人为原因造成的，这些事故其实都是可以避免的。如果能解决老百姓“恐核心理”及乏燃料再利用等问题，核电将会在我国未来“碳中和”过程中发挥非常重要的作用，我们必须大力发展核电，尤其是在内陆地区发展核电。

另一个问题，是如何利用西部丰富的风、光资源更稳定地输出电力。为何各地频频出现大面积“弃风弃光”，就是因为风电、光电输出功率不稳定，风电、光电大比例上网会严重影响既有电网的稳定性。事实上，西部的风、光资源将是我们未来实现“碳中和”的最大底气，但前提是要解决稳定输出问题，涉及到发电、储能、转化、输电、消纳等各个环节，其中，最为关键的是要在储能技术上实现突破。

在消费端，尤其在工业领域，像冶金、化工、建材、矿山这些用能大户，电力替代的潜力很大。然而，很多替代技术目前还没有研发出来，这就涉及到一个工艺再造的过程，我们在这方面必须要尽快地进行系统布局，分析此类技术的发展路

线图。因此，技术为王，这是一个大前提。不能在工艺再造还未完成、企业能耗成本还未降到足够低的时候就去“一刀切”，马上都去脱碳、去退出，这样的结果只会把企业、行业引向死亡。所以，我一直强调，非碳能源占比的提升不是一个线性过程，根本上还是要由技术进步所驱动。煤炭作为主力能源，还将在我国能源结构中主导较长的一段时期。

中国新闻周刊：说到煤电何时会全面退出，业界目前对于“十四五”期间是否还要继续新增煤电项目的讨论比较多。我们也观察到，疫情之后，为了拉动地方经济，很多省份都上马了一批新的煤电项目，而电力行业是“双碳目标”的主战场。对于这些新增的装机，你如何看？

丁仲礼：我相信以后新增的煤电项目会比较有限。在碳达峰、碳中和的大背景下，更多上马的项目宜以太阳能、风能以及核能等非碳能源为主。当然，火电以后也会越来越“干净”，对大气的污染会越来越小。

事实上，在“碳中和”的实现路径上，理论上有两种选择，一种是把碳达峰的峰值调高，但之后“削峰”的压力就会很大；另一种是尽量把峰值压低，但这会对发展需要的新增能源供给造成很大压力。我认为，从环境角度考虑，最好采取第二种路径，虽然难以预测达峰时的排放总量，但考虑到这些年为治理空气污染付出的巨大努力和取得的显著成效，如果现在盲目上马高耗能项目，很可能造成环境污染反弹。在这方面，我们要有前瞻性眼光，“两高”（高耗能、高污染）项目能不上就尽量不上。

当然，出于现实发展的能源需求，确实该上马的还是要上马。因为我们要明确一点，我们现在的工业化、城市化过程还没有完成，未来人民的生活水平要进一步提高，对能源的需求必然会增加，虽然说2030年要碳达峰，但不意味着现在就不能新增任何煤炭项目。在经济社会发展的用能需求上，一定要实事求是，不应该为了追求某些指标好看或者为了达标而去搞“一刀切”。

中国新闻周刊：目前，国家对于新增煤炭项目虽然没有明确的“划线”，但据悉准备研究制定二氧化碳排放总量控制制度，未来可能会实施国家对地方二氧化碳

排放总量的预算管理，明确各地区 2021~2035 年二氧化碳排放总量的控制目标，并且每年动态更新，以此来对地方形成倒逼。对于在排放上可能设定“天花板”这件事，你怎么看？

丁仲礼：其实，政府早就开始做全国能源消耗总量和能源消耗强度的控制工作了，相信大家对“双控目标”这个词不陌生。我认为，要想实现真正的低碳转型，所需的资金将会是天文数字，不可能全部依靠政府强力政策推动或者财政补贴来满足。

从市场的角度来看，如果煤炭发电变得很贵，或者风、光的稳定输出问题解决了，太阳能、风能发电的成本进一步降低，传统的高耗能企业自然而然就会退出，非碳能源企业会相应地跟上。但如果技术没有完成迭代，煤炭还有很大的市场竞争力，传统用能企业就仍会在市场中存在较长的时间。在光伏产业的发展上，我们是有深刻教训的，前期以补贴为主，后来停止补贴引起了很大的问题。直到现在，这个问题也没能得到有效解决。因此，相对于设定二氧化碳排放总量的天花板，政府的更优解应该是坚持市场机制和政策调控两手抓，即在市场机制充分发挥自身作用的基础上，再加以政策引导，通过四步走的策略，去促进社会生产生活各领域的减碳、无碳化。

首先，政府把财政资金主要投入在发电端非碳能源技术研发体系的建设，和消费端用能工艺再造上，有针对性地进行特殊支持，发挥社会主义集中力量办大事的优势，把大学、研发机构和企业三方力量统筹起来，列出技术需求清单，完成系统化研发布局，这是实现“碳中和”的第一步。

第二步，是要投入适量财政资金，构建产业化示范体系。第三步，在这个示范的过程中，引导相关技术不断迭代，促进成本降低，那时候各项新技术自然就会逐渐显示出竞争力，就能够顺应市场需求，逐步挤压传统化石能源技术的生存空间。第四步，才是政府来推动整个行业的转型发展，进行产业的总体规划，比如计划多少年内把哪些传统化石能源全部替代掉。

这里需要注意的是，在“碳中和”大转型中，行业整体的协调共进极为重要，如果某一行业不同企业间不能协调共进，势必会使“不作为企业”节约了成本，从而出现“劣币驱逐良币”现象。因此，必须要由政府设计好分行业的“碳中和”

路线图并出台有效的激励/约束制度，督促行业整体推进。

这四个步骤不能调换顺序，更不能大而化之，“一刀切”地要求企业马上就实施非碳能源替代。部分地方政府觉得只需要强力政策推动，不需要这个循序渐进的过程，这就犯了唯心主义的错误。在碳排放问题上，我们一定要实事求是。没有技术迭代作为前提，“碳中和”就是无源之水，无本之木，企业也将无所适从。所以，国家首先要把技术体系建起来，不要急急忙忙去下达比较激进的指标，否则指标一下，地方政府若没有完成的能力，要么造假，要么“拉闸限电”，事与愿违。任何政策都有一个酝酿期和适应期，如果立马以雷霆万钧之力往下压，一定会带来问题。

我建议国家有关部门在确定“碳中和”路线图的问题上可考虑先经历一段“百家争鸣”时期，不要急于“收口”。等大家经过充分研讨形成共识后，再转化成操层面的具体措施，这样可以少走弯路。

中国新闻周刊：中国和西方国家相比，从“碳达峰”到“碳中和”的时间要短得多，难度也更大。所以未来很长一段时间，中国如何在减排和发展之间实现更科学、理性的平衡？

丁仲礼：如果我们看 1930 年到 2017 年各国的人均碳排放的变化，就会发现美国、英国和法国都是在 1970 年代左右达到了高峰，此后开始缓慢下降，也就是说，到欧美国家承诺的 2050 年“碳中和”，他们有 70~80 年的时间；而中国承诺 2030 年“碳达峰”、2060 年“碳中和”，中间只有 30 年。再从 1900~2019 年的人均累计碳排放来看，中国是 157.39 吨，比全球平均水平 209.62 吨还低。从主要发达国家的发展历史来看，一个国家的发展程度是同人均累计碳排放密切相关的，中国的人均碳排放虽已超过全球平均水平，但人均累计排放还远远不及，这也意味着，和西方国家相比，我国的“碳中和”会更加困难。

我们现在的排放总量比较高，与我国人口总量、所处的发展阶段和我国以煤炭为主的能源结构有关。我们的工业化、城市化过程还没有完成，经济仍处在上升期，所以未来一段时间，对能源的需求一定是会继续上升的。以 2019 年为例，我国

一次能源消费总量中，煤炭仍然占 57.7%，而非化石能源只占 15.3%。特别要强调的一点是，以后的数字社会一定是个高能耗社会，比如 5G、大数据中心等，这些都是高耗能的行业。所以，我们未来的减碳任务会非常艰巨。

中国新闻周刊：在气候变化问题上，西方有一种观点，那就是不接受中国将自己定位为发展中国家，而是将中国视为发达国家，要求中国承担更多的责任。对此，你如何看？

丁仲礼：早在 2010 年我就说过，西方发达国家以各种理由限制发展中国家碳排放，以各种借口把减排责任推卸到发展中国家头上，企图限制发展中国家的发展权利，把贫富差距固定化，这在道德上是邪恶的。二氧化碳的排放不是一天的事，其对气候的影响也是不断累积的。只要算一算人均累计碳排放，就能发现到底谁排放的更多，对气候变化的责任更大，应负的减排义务更多，这是显而易见的。中国的人均累计排放至今仍然低于世界平均水平。在排放权的问题上，谈减排责任、谈公平，必须坚持一条，那就是要讲历史、讲人均，根据人均累计排放来评估，不谈这一条，照目前的网络语言讲，就是“耍流氓”。

在全世界共同走向“碳中和”的过程中，对各国的碳排放势必会建立一套核验标准体系。针对我国的碳收支状况，我们必须尽早建立一套自己的监测、计算、报告和核验的标准体系，以保证话语权在我，而不是由别人说了算。

另外，针对“未来排放权要如何分配”“共同但有区别的责任要如何体现”“中国如何应对国际上的抹黑舆论”等问题，以及我国当下的很多减排政策，比如排放“天花板”的设定等，我们应该更多地从地缘政治的基本逻辑出发去考量，跳出发达国家设好的“思维陷阱”，作出正确的判断，从而制定出有利于我国长远发展的应对策略。

11、温室气体减排不能背弃公平正义

时间：2010.2.10 来源：人民日报

原文链接：https://www.cas.cn/xw/zjsd/201002/t20100210_2772591.shtml

哥本哈根气候大会虽然渐行渐远，但重重疑云并未消散：大会为何吵得一塌糊涂？为什么说 G8 减排方案违背了公平正义的国际关系准则？符合“共同但有区别的责任”原则的减排途径是什么？

围绕这些问题，记者日前采访了中科院副院长丁仲礼院士。

排放问题实质上是发展问题，有了排放权，才有发展权

如果没有工业化以来的高排放，发达国家就不会有今天的高品质生活

“哥本哈根大会从表面上看是为了保护人类共同的家园，但其实质却是二氧化碳（CO₂）排放权之争。而排放权的实质，就是发展权，就是基本人权。”丁仲礼说。

“发达国家今天享受的高福利、高标准生活，不是从天上掉下来的，而是通过长期的高速工业化过程实现的。”去年，丁仲礼带领课题组对世界各国从 1900 年到 2005 年的人均累计排放量进行了分析，结果发现：任何国家从不发达到发达，都要不可避免地经历 CO₂ 的高排放过程。

他为记者列举了一组数据：从 1900 年到 2005 年，全球的人均累计排放量为 79.58tC（吨碳），其中美国为 467.88tC，英国为 303.13tC，德国为 271.32tC，俄罗斯为 164.00tC，法国为 161.85tC，日本为 115.10tC。

相比之下，中国同期的人均累计排放量仅为 24.14tC，大致相当于美国或英国 1900—1907 年这 8 年的人均累计排放量。而截至 2005 年，中国的人均 GDP 还远未达到发达国家在 1960 年已达到的水平。

丁仲礼认为，“从这些数据不难看出，排放问题本质上就是发展问题；有了排放权，才有发展权。”

“人类的 CO₂ 排放主要来自交通、冶炼、建筑、电力、日常生活等领域，而这些领域都与工业化和提高人民生活水平密切相关。”丁仲礼说，中国、印度、巴西等广大发展中国家都还没有完成工业化、城市化和基础设施建设，而低碳技术在今后一段较长时期内很难大范围应用。“如果今后发展中国家没有相应的排放权，

就将失去发展的空间，提高人民的生活水平将会是一句空话！”

G8 方案是人类历史上罕见的的不平等条约

该方案不但忽略了历史上发达国家的人均累计排放量已是发展中国家 7.54 倍的事实，而且还为发达国家设计了比发展中国家高 2.9 倍的人均未来排放权

目前发达国家抛出了多个减排方案，其中美国、英国、法国、德国、意大利、加拿大、日本、俄罗斯等国家提出的 G8 方案最受追捧。该方案的主要内容是：到 2050 年全世界 CO₂ 排放量减少 50%，发达国家减少 80%。由于此方案没有在哥本哈根会议上通过，一些西方国家领导人和媒体纷纷为此叫屈：我们要率先大规模减排，你们却不让我们减！

“G8 方案貌似积极、公正，实则隐藏着难以觉察的不公正。”丁仲礼指出，“如果这一方案获得通过成为国际公约，将成为人类历史上罕见的的不平等条约。”

“如果说大气中 CO₂ 浓度的增加与气温升高有必然联系的话，那么全球变暖首先是由发达国家历史上的巨大排放导致的，他们首先要承担历史责任、还清历史旧账。”丁仲礼说，据世界资源研究所统计，大气中现存 CO₂ 排放中，约 70%至 80%是由发达国家产生的。“我们的研究结果显示，1990—2005 年，发达国家的人均累计排放量是发展中国家的 7.54 倍。G8 方案却无视历史事实，对历史责任避而不谈！”

“其次，G8 方案看上去对于未来的全球碳减排目标贡献很大，实则不然。”丁仲礼说，如果执行这一方案，G8 国家 1900—2050 年的人均累计排放总共为 356.58tC，其他国家人均累计则只有 59.95tC，差别达 6 倍之多。

“即使是只看未来排放权，G8 方案也是非常不公平。”丁仲礼说，如果到 2050 年全球减排 50%，从 2006 年至 2050 年全球的排放空间总数为 231.21GtC（10 亿吨碳）；根据 G8 方案，他们将占用 84.23GtC。如以 2005 年不变人口计，2006—2050 年的发达国家的人均排放量为 88.00tC，是发展中国家的 3.3 倍。“更何况，今后中国、印度等发展中国家的人口还将增加。如以今后预测人口逐年计算，发达国家的今后的人均排放量将是发展中国家的 3.9 倍！”

“如果让 G8 方案获得通过，就等于承认：发达国家历史上的人均累计排放比发

展中国家多 7.54 倍，今后的人均排放还将比发展中国家高近 4 倍。”丁仲礼说，“换言之，就是：今后发达国家可以继续坐汽车，发展中国家只能继续骑毛驴！”

据他介绍，发达国家提出的减排方案大同小异，如果按照这些方案去减排，则占不到全世界 15% 的人口的发达国家将获得大约 44% 的排放权，而占全世界人口 85% 的发展中国家只享有其余约 55% 的排放权。“对于这样的不平等条约，发展中国家怎么能接受？！”

以人均累计排放为指标，构建以排放权分配为核心的全球责任体系

只有把排放配额分配作为谈判议题，才能充分考虑历史和现实诸因素，体现“共同而有区别的责任”的原则和公平正义准则

“如果以‘减排’为谈判议题，并由此构建国际责任体系，就势必会掩盖各国历史排放与人均排放的巨大差异，这显然违反了公平正义的国际关系准则。”据丁仲礼介绍，控制大气 CO₂ 浓度，还有另外一种途径，即进行“未来排放配额分配”。排放配额就是以某个时间段为单位，分配此时间段内各国可排放的额度，各国再据此制定自己的减排进度。“只有把排放配额分配作为谈判议题，才能充分考虑历史和现实诸因素，体现‘共同而有区别的责任’的原则和公平正义的准则。”

丁仲礼课题组采用人均累计排放指标，在 450ppmv（浓度单位，相当于 1 立方米气体中含二氧化碳 1 毫升）的大气 CO₂ 浓度控制目标情景下，根据 1900—2050 年的应得配额数、1900—2005 年的实际排放量、2005 年的排放水平、1996—2005 年排放量平均增速这四个客观指标，把全球大于 30 万人口的国家或地区分为四类——

第一类为“已形成排放赤字国家”，主要包括美国、英国、沙特阿拉伯、阿联酋等 35 个主要发达国家和产油大国。这些国家今后非但没有排放空间，而且已经超额排放。

第二类为“排放总量需降低国家或地区”，共有 34 个，其中既有韩国、意大利等中等发达国家或地区，也有日本、挪威、以色列、瑞士等发达国家。这些国家或地区从 2006 年起尚有一定排放空间，但如果继续保持 2005 年的排放水平，则 2006—2050 年的排放总量将超过其排放空间，今后需要设法降低年排放量。

第三类国家或地区为“排放增速需降低国家”，有 62 个国家。这些国家或地区如保持 2005 年的排放水平，则到 2050 年，其排放总量将小于排放空间，今后需设法降低碳排放增长速率。中国位居此列。

第四类国家为“可保持目前排放增速国家”，共有 75 个，包括最不发达国家联盟和印度、巴西、巴基斯坦等。这些国家如果在 2006—2050 年期间，继续保持 1996—2005 年的 CO₂ 排放增长速率，其排放总量也不会超过他们的排放空间，他们今后的主要任务是尽量保持排放增长速率不增加。

丁仲礼说，在以今后排放配额为谈判议题的国际责任体系中，拥有排放空间的多数国家可以在尽各自减排义务的同时，保持经济的适度发展，提高本国人民的生活水平。

已形成排放赤字和将形成排放赤字的发达国家，今后是不是就不能排放了？丁仲礼说，这些国家可以通过面向发展中国家设立技术转让基金、碳固定基金、气候变化适应基金、清洁发展基金等方式，补偿过去的排放赤字、购买今后的排放额度。同时，他们应设定更加严格的中期减排目标，为发展中国家做出减排示范。

“只有以人均累计排放为指标，构建以排放权分配为核心的全球责任体系，才能把‘共同但有区别的责任’原则落到实处，真正体现公平正义的国际关系准则，同时确保处于不同发展阶段的国家的发展权和生存权。”丁仲礼说。

12、我们需要用一种公平方式来分配碳排放权

时间：2011.12.26 来源：科学杂志

原文链接：<https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2011/12/257540.shtm>

与 2009 年哥本哈根峰会中国代表团的其他成员一样，地质学家丁仲礼怒火中烧地返回祖国。这次饱受争议的会谈并没有找到解决如何来合理地控制二氧化碳（CO₂）排放的方法。一些观察家指责中国、巴西和印度等新型大国拒绝绑定减排。丁仲礼与其他的同胞们却对他们所看到的不公平而愤愤不平。“1990 年以前，发达国家排放了如此之多的二氧化碳。他们应当为此做些什么。”丁仲礼表

示。“我们需要用一种公平的方式来分配排放权。”

一个合理的解决方案被证明是很难找到的，而京都议定书将于 2012 年过期，剩下的时间不多了。为了各国能达成共识，中国正在通过关闭低效率的燃煤电厂和限制能源消耗来加紧大幅降低能源强度。近日，国务院批准一项方案推动低碳能源并在 2015 年前将单位 GDP 的二氧化碳排放量削减 17%。然而这些努力掩盖了中国的碳收支表上巨大的不确定性：究竟这个国家排放了多少二氧化碳同时其国土范围又吸收了多少。

作为中国科学院的副院长，丁仲礼正在领导一个雄心勃勃的项目旨在回答这些疑问。在紧接着哥本哈根会谈之后的给温家宝总理的一封信中，丁仲礼建议中国对气候科学和排放监控进行大规模的投资。结果就是刚刚启动的一项为期五年近 8 亿人民币的项目，该项目将编制一份二氧化碳排放清单，探索碳封存以及中国如何适应气候变化，调查气候响应是如何提升温室气体水平的。该项目将涉及来自 20 多个中科院研究所和 4 个其他的政府部门的几百名科研人员，包括负责经济计划的实权部门国家发展和改革委员会。

项目的启动并不是一帆风顺的。今年早些时候，丁仲礼试图为项目寻求广泛的支持时遭遇到了来自其他部门的阻力。部分原因是丁仲礼公开的挑战有关气候变化的科学共识的某些方面，比如是否当前一致的目标——比如控制大气二氧化碳浓度在 450ppm 以下并限制全球平均温度上升 2 摄氏度——是有意义的。丁仲礼认为气候并不会象模型预测的那样对二氧化碳水平的上升如此敏感。“如果看看过去 200 年里的数据，你会发现有很多的不确定性，”他表示。在 2010 年 3 月接受中国中央电视台的采访时，丁仲礼曾直率地将联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）使用计算机模型预测温度上升比作算命先生盯着水晶球。

一些中国的科学家质疑丁仲礼的动机。“通过怀疑 IPCC 的发现来达到缓解中国减少碳排放的压力并不利于中国经济的发展，”一位 IPCC 中国籍委员表示。但丁仲礼坚持认为，新项目是一个纯粹科学的工作，它将显示中国对严肃的气候研究的承诺。

经过几个月的内部讨论，中国的科研界已经大规模的集结到这个项目周围，该项目已经逐步发展得比丁仲礼的初衷更广更雄心勃勃。一个主要的新目标就是利用

中国本土的超级计算机和卫星影像加强气候建模能力，进而调研温室气体排放是如何影像气候变化的。

科学家们也将试图全面地计算中国的二氧化碳排放。该项目将计算各个经济领域的排放情况，这依托研究人员来搜集诸如建设、农业、采矿等各个类别的能源使用数字。丁仲礼表示，这些碳数据将被编译成一个国家级数据库，并提供给发改委，发改委将向联合国气候变化框架公约秘书处报告温室气体排放情况。

北卡罗莱纳州阿巴拉契亚州立大学的环境学家 Gregg Marland 表示，我们欢迎对中国的排放更好的了解。Marland 还是 IPCC2006 年国家排放清单的主要作者。在一份 2008 年的分析中，Marland 和他的同事们断定，对中国二氧化碳排放的估计可能被低估了 20% 之多，与此对比的是，美国的数据最大的误差不超过 5%。Marland 表示，因为中国比其他任何一个国家排放的二氧化碳都多，任何一个大的错误都会造成全球总量的偏离。“中国的排放量如此巨大，所以这至关重要，”他表示。

丁仲礼希望该项目也将说明中国的国土范围吸收了多少二氧化碳并确定封存地点。包括此前被低估的那些比如沙漠和喀斯特形成物等在内，中国的碳汇被认为每年能吸收 2.6 亿吨二氧化碳——大致相当于美国的总量。中国希望能在 2020 年前通过保护和造林将整体碳汇增至 4.16 亿吨。为了确定这些数字，中科院的研究人员们将分别到上千个网站上去搜集大气数据。其他小组将审查中国的六个大规模造林项目以跟踪森林吸收的二氧化碳，这是自然沉降的主要方式。

中科院地质与地球物理研究所能源专家庞忠和与丁仲礼有着一样的观点，认为二氧化碳排放和温度的上升间的联系需要更多的证据来证明，他表示这个项目将帮助引导中国的气候政策。举个例子，如果研究结果表明中国低估了其碳汇的存储容量，气候谈判代表就可以要求修订，因为中国排放量的较大一部分都被抵消掉了。

该项目确实会给谈判代表更大的科学影响力。在未来的气候变化峰会上，中国的谈判代表将能把更高质量的数据带到谈判桌上——一个贡献就是将“增加他们的议价能力，”物理学家 Feng An 认为，Feng AN 是位于中国北京和美国加州洛杉矶的能源和交通运输创新中心的执行主任。

丁仲礼充分意识到国际社会可能会对这个项目持怀疑态度。然而，他表示，“最重要事情是收集足够的数据。”至少在这一点上，是毫无疑问的。

13、推进能源结构优化是治理雾霾的必由之路

时间：2017.3.14 来源：央广网

原文链接：

http://china.cnr.cn/yaowen/20170314/t20170314_523655387.shtml

央广网北京3月14日消息（记者刘祎辰）据中国之声《新闻纵横》报道，谈到当下公众关注度最高的话题，雾霾治理绝对是其中之一。关于雾霾治理，下面介绍的这位科学家有很大发言权。

丁仲礼，全国人大代表，中国科学院副院长，中科院院士。作为长期研究环境变化的专家，在他眼中，雾霾治理、气候协定、能源结构，三者有怎样的关联？什么才是治理雾霾的根本途径？

2010年，哥本哈根世界气候大会后不久，丁仲礼接受记者采访时直言当时碳排放协定对于发展中国家毫无公平可言，注定要失败。虽然时间已过去整整七年，但每隔一段时间就会在网络和社交媒体上引起一轮重温，不少网友对丁院士的直言不讳表示钦佩。当时他对记者这样说，“27个发达国家，切走的是44%，11亿人口。余下的人55亿，分56%的蛋糕，你说公平不公平？”

去年底《巴黎协定》正式生效，几乎与此同时，美国大选进入关键时刻。当时还是竞选人的特朗普在选举过程中对协定表示颇多质疑。虽然竞选成功后，特朗普本人表态转向缓和，但依然让外界为这个来之不易的气候协定能否顺利推进捏一把汗。对此，丁仲礼倒并不担心，“我去之前就知道哥本哈根这个会肯定谈不成，它是自上而下的减排来分配。目标定得很高、分配不公平，大家都反对，不可能完成。巴黎接受了哥本哈根失败的教训，自下而上、‘自主贡献’，到什么时候能完成什么程度。特朗普不会说不参与自下而上的国际气候变化治理，但他有可能说做不到大幅度减排的承诺，他会做出修正。”

人们关心气候协定，更关心雾霾治理，但不少人却并不知晓，两项工作之间也有密切的关联。要落实气候协定，需要各国积极减排。平衡发展与减排，关键在于改善能源结构。丁仲礼说，从源头减排，推进能源结构优化是治理雾霾的必由之路，从第一个层面讲，与国家的经济结构有关，经济发展过程中能源一定会增加。经济结构好，增加的会很慢，以中国目前的发展阶段来讲，增加是肯定的。第二个层面是能源本身的结构，清洁能源所占的比例，二氧化硫、氧化氮（氮氧化物）、挥发性颗粒物，这些污染物最大的来源是化石能源。

以我国发展中国家的现状来看，经济结构调整过程中，能源消耗还会增加，减少形成雾霾元凶——污染物排放，根源落在了调整能源结构、多使用清洁能源上。

丁仲礼介绍，中国在清洁能源上的投入是全世界最大的，发展也是最快的。根本上来说要通过核能才能把二氧化碳减下去。对于风电、光伏技术，丁仲礼指出，“风电光伏技术，作为主打能源的可能性几十年内很小，但核电是有可能的，比如法国核能发电没多少年已经变成其主要能源。大家担心核能安全，选择起来很困难。”

不过事实上，目前我国只有 35 台在运核电机组，共计 3360 万千瓦，在全国各类电力装机中的占比仅约 2%，2015 年核电建设才刚刚重启，究竟哪种能源会在未来成为主力军还很难说。虽然根据承诺，我国的碳排放将在 2030 年左右达到峰值，更清洁的能源结构一定是未来的发展方向，但对于雾霾治理的达成，人们已经望眼欲穿。目前采取种种措施推进化石能源的“绿色利用”是丁仲礼所说的治理雾霾的第三个层面，“这些化石能源清洁利用到什么程度？比如煤炭用的过程中，可以脱硫脱硝除尘。能源要增长，即使是化石能源还有略微增长，只要各种各样的环保措施跟上，污染排放总量是可以减下来的。”

2013 年“大气十条”开始实施，全面打响了治理雾霾的保卫战。在日前召开的十二届全国人大五次会议记者会上，环保部部长陈吉宁表示，3 年以来，京津冀、长三角、珠三角及 74 个重点城市的大气质量得到改善，PM_{2.5} 年均浓度下降 30% 以上，优良天数比例在上升，重污染发生频次明显降低。2016 年北京 PM_{2.5} 浓度是 73 微克/每立方米，比 2015 年下降 9.9% 是北京改善幅度最大的一年。但也有不少人觉得空气质量改善的“体感”似乎比数据看来弱了不少。

对此，丁仲礼表示，主要是由于冬季拖了后腿，“感觉是准确的，这几年减少主要在前三季度，冬半年或第四季度或许有一点减霾，但肯定不明显。供暖是一个方面，地方政府对保增长常放到第四季度，对此要等统计局部门拿出准确的数据。我感觉第四季度的减排由于地方政府保增长又叠加了供暖季，天气不好，所以给大家的感受非常糟糕，一定要把冬季的排放总量减下来，并且要减的量比较大。不能把保增长压倒第四季度，要下大力气、大决心把散煤取暖压下去。”

雾霾围城的日子，每个人都无法独善其身。但预警带来的限行等还是会引起些许杂音。对此，丁仲礼说，情绪可以理解，但治理雾霾的战役里，没有人可以缺席。

每一次重污染，地区间的污染是否成分一样？丁仲礼回应表示都不一样，“宏观的东西是清楚的，煤炭、汽车、挥发的有机物。根本的一点大家都知道，汽车是很重要的排放源，尤其氧化氮

14、丁仲礼：“人均累计排放”最能体现公平正义原则

时间：2010.2.10 来源：新华网

原文链接：

<https://www.chinanews.com.cn/ny/news/2010/02-10/2118465.shtml>

哥本哈根气候变化大会已尘埃落定，但关于气候变化问题的争论还在继续，尤其是长期排放权分配问题，依然是各界关注的焦点。中国科学院副院长丁仲礼院士日前表示，研究和应对气候变化问题应当依据科学事实，全球二氧化碳排放权分配的方案必须要考虑各国历史排放、人均排放和发展阶段的差异，才能做到公平公正。

“排放权即发展权”

一定时段内，将大气二氧化碳浓度控制在某个适当的水平之内，已成为全球政治共识。

“要在操作层面上完成对二氧化碳浓度的控制，就必须有一个为全球大部分国家所接受的责任体系，而其中的焦点就是各国今后的排放权分配。”丁仲礼说。

他领导的课题组通过研究发现，所有发达国家都出现过人均二氧化碳排放的高峰期。美国在 1973 年、英国在 1971 年、德国和法国在 1979 年分别达到人均排放高峰，其后略有下降或基本保持不变，并且这些国家在发展过程中都经历过碳排放的高速增长期，美国在 1901 年至 1910 年的人均二氧化碳年排放增长率平均为 5.04%，德国在 1947 年至 1957 年为 9.89%，日本在 1960 年至 1970 年高达 11.98%。

“可见，任何国家从不发达进入发达这一发展过程中，无一例外地出现了人均二氧化碳排放高峰期的现象。”丁仲礼说，“因此，要发展就难免排放，排放问题本质上就是发展问题，排放权即发展权。”

他指出，控制温室气体排放只有通过降低能源使用总量、调整能源结构、控制人口增长等方式才能实现，因此它本质上是经济社会如何发展的问题。

“到目前为止，世界上所有国家在其发展经济、提高国民福利过程中，都不能避免能源驱动这个模式，也避免不了碳排放的增加。美国和英国在 1900 年的人均碳排放就分别达到 2.4 吨和 3.2 吨碳。可以说，目前世界上的低碳经济国家还是那些以自然经济形式存在的最不发达国家。在人类历史上，低碳发展的国家还没有出现过。”丁仲礼说，“即使今后低碳技术获得长足进步，发展中国家在建设基础设施、完成工业化和城市化过程中还将不可避免地导致二氧化碳排放的增长。”

他认为，无论是考虑到历史排放、当前排放，还是考虑到发展中国家在城市化、工业化过程中不得不产生的排放，在长期排放权分配上，无疑应该向发展中国家倾斜。

减排话语下存在“陷阱”

关于二氧化碳减排，目前国际上有多种方案，绝大多数是国际组织和发达国家学者提出的。那么，这些减排方案是否科学公正？

丁仲礼课题组对 IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)方案、G8 国家方案等 7 个主要方案进行了评估分析。“我们发现这些方案不但没有考虑历史上 1900

年到 2005 年期间发达国家的人均累计排放量已是发展中国家 7.54 倍的事实，而且还为发达国家设计了比发展中国家大 2.3 倍到 6.7 倍的人均未来排放权。”他说。

大气中二氧化碳浓度从工业革命前的 270ppmv(百万分之一体积)左右提高到 2005 年的 380ppmv,约有 60%来自 2005 年前人口不到全球 15%的 27 个发达国家。而这些减排方案巧妙地回避了各国应该承担的历史责任。”丁仲礼说，“同时，这些方案虽然提出了时间尺度上的排放比例，但没有一个方案考虑人均累计排放量，从而规避了人人平等的公平性。”

他进一步分析说：“这些减排方案从表面上看，发达国家减排量更多；殊不知，在减排话语下隐藏着一个巨大的陷阱。”

丁仲礼指出，这个陷阱由 6 步“逻辑推理”构成：第一步，论证全球温度对大气二氧化碳浓度的高敏感性；第二步，强调升温可能对人类带来的灾难性影响；第三步，作出价值判断，即要在本世纪内将工业革命以来的全球增温控制在 2 摄氏度以内；第四步，计算出不超过 2 摄氏度增温的大气二氧化碳浓度为 450ppmv；第五步，发达国家率先提出明确的减排目标；第六步，发展中国家不承担具体的减排任务。

“这其中最为关键的一点在于，450ppmv 的目标浓度确定后，2006 年至 2050 年期间，人类通过化石燃料和水泥生产产生的排放量就随之确定。在这个总量中，发达国家确定‘率先减排’比例后，余下的即为发展中国家的排放量，且所剩不多。”丁仲礼说。

根据他的计算，如果接受发达国家提出的 25%的中期减排目标，中国到 2019 年即用完排放权。即使这个目标提高到 40%，也仅仅将用完排放权的时间推到 2021 年而已。

“这样的方案将大大剥夺发展中国家的发展权益，违背了国际关系中的公平正义原则，也违背了气候变化协议中‘共同但有区别的责任’原则。如果这些方案得到实施的话，将成为人类历史上罕见的的不平等条约。”他说。

“人均累计排放”最能体现公平正义原则

丁仲礼认为，用某个时间点开始的人均累计排放来分配今后的排放权，最能体现公平正义原则。

“从一个国家当前工业基础、城市化水平、人均 GDP 和国民福利等方面同人均累计排放的高度相关性来论证，这个指标是合理的。”他说。

他指出，从 1900 年到 2005 年这一段时期，中国的人均累计排放大约是世界平均数的三分之一，是发达国家的十分之一，是美国的二十分之一。同样，我们今天的排放也刚刚达到或者略超全世界人均排放的平均值，这也只有美国人均排放的四分之一。“这必须作为未来排放权分配中充分考虑的因素。”

我国目前处于一个高速发展时期，能源需求旺盛，减排难度不小。“考虑到中国正在大力发展和应用低碳技术，实施节能减排的各种努力，我们评估认为，即使在 450ppmv 至 470ppmv 浓度控制目标下，中国也有足够的逻辑和道义的支持，要求在 2006 年至 2050 年间获得 1100 亿吨至 1300 亿吨碳的排放权。”丁仲礼说。

他特别说明，通过计算，发现在 450ppmv 的控制目标下，现在大部分发达国家已经形成排放赤字，“但我们并非主张这些国家今后不能再有任何排放，而是主张这些国家应该用资金和技术来‘交换’今后的排放权。”

此外，丁仲礼认为，对 450ppmv 目标不应设定得太过刚性。因为 450ppmv 目标是 IPCC 在气温对 CO₂ 浓度高度敏感的认识下做出的，并且主要来自数值模拟，并非来自对过去百年纪录的严格评估。

“在未来关于气候变化的谈判中，中国应担负起大国的责任，坚持公平正义原则，以‘排放配额’为议题展开谈判，变被动为主动，捍卫国家发展权。”他说。

15、可再生能源法实施中存在的问题及相关建议

时间：2019.12.28 来源：全国能源信息平台

原文链接：

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1654123625488582649&wfr=spider&for=p>

据中国人大网消息，在 12 月 24 日举行的第十三届全国人民代表大会常务委员会第十五次会议上，全国人大常委会副委员长丁仲礼就全国人大常委会执法检查组近期对《中华人民共和国可再生能源法》实施情况的执法检查做了专项报告。

今年 8 月至 11 月，全国人大常委会组织开展了可再生能源法执法检查，执法检查组由沈跃跃、白玛赤林和丁仲礼副委员长任组长，环资委主任委员高虎城任副组长，成员共 21 位，由全国人大常委会委员、环资委委员和全国人大代表组成。

检查组先后听取了国家能源局、国家发展改革委、财政部、自然资源部、生态环境部等部门和单位关于贯彻实施可再生能源法情况的汇报，并组织 3 个小组先后赴 6 个省（自治区）的 19 个地市、51 个检查点开展执法检查工作，还委托山西等 12 个省（自治区）人大常委会对本行政区域内实施情况进行检查，同时委托中国工程院组织近百位院士及专家深入评估形成第三方评估报告作为此次执法检查的参考。

本文摘录丁仲礼副委员长就此次可再生能源法执法检查情况报告的部分内容如下：

一、法律实施总体情况

自 2006 年 1 月 1 日可再生能源法颁布实施以来，可再生能源开发利用规模显著扩大，技术装备水平不断提升。我国水电、风电、光伏发电的累计装机规模均居世界首位。2018 年，全国可再生能源发电量 18670 亿千瓦时，占全部发电量的 26.7%，比 2005 年提高 10.6 个百分点。其中非水可再生能源总装机容量是 2005 年的 94 倍，发电量是 2005 年的 91 倍。可再生能源占一次能源消费总量比重达到 12.5%左右，比 2005 年翻了一番。

可再生能源法主要法律制度基本落实，法律得到有效实施，基本实现了立法目的。法律第 4 条规定的总量目标制度有效落实。法律有关开发利用规划、全额保障性收购、费用补偿等部分法律制度，也存在统筹协调不够、落实不到位、监管薄弱等问题。

二、法律实施成效

各地区各部门按照可再生能源法要求，依法履职尽责，积极出台配套政策，认真落实法律规定，法律实施取得了显著成效。

（一）出台配套法规制度，提升可再生能源发展法治化水平

国务院相关部门高度重视可再生能源法的贯彻实施，依法在资源调查、总量目标、规划引导、应用示范、产业监测、并网消纳等方面出台了上百项配套规章政策，规范了可再生能源发电上网管理有关内容，明确了上网电价和费用分摊制度，制定了可再生能源装备设备、工程建设、并网运行等技术标准，为推动可再生能源快速发展营造了良好的政策环境。

各级地方政府结合本地实际，制定出台了地方性法规政策，各地支持可再生能源发展的配套法规和政策体系逐步完善。

（二）落实资源调查和规划制度，引导可再生能源发展方向

国务院有关部门依法组织开展了可再生能源资源详查，可再生能源发展规划体系逐步建立，为引导可再生能源发展方向、优化结构布局发挥了重要作用。

（三）加强产业指导和技术创新，大力扶持可再生能源产业发展

国家能源局会同发展改革委发布了可再生能源产业发展指导目录，为制定支持可再生能源发展财政、税收等政策提供依据。可再生能源产业示范项目稳步推进，电网接入和运行技术水平不断提高，为可再生能源大规模发展和消纳提供有力支撑。

（四）落实相关法律制度，提高可再生能源开发利用水平

国家发展改革委、能源局出台了可再生能源发电全额保障性收购管理办法、清洁能源消纳行动计划、建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知等政策文件。可再生能源发展的综合效益逐步显现。

（五）注重经济激励，为可再生能源发展提供财政支持

国务院相关部门按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则，制定了基于固定电价下的补贴政策，明确上网电价高于煤电标杆电价的部分通过可再生能源发展基金补偿。可再生能源相关企业普遍受益。

三、存在的主要问题

可再生能源法一些制度规定在实施中存在相互间不够协调、执行不够到位等问题，需要中央和地方、政府和企业统筹解决。

（一）相关规划尚未充分衔接

法律第8条规定，省、自治区、直辖市人民政府管理能源工作的部门会同本级人民政府有关部门，依据全国可再生能源开发利用规划和本行政区域可再生能源开发利用中长期目标，编制本行政区域可再生能源开发利用规划。

法律第9条规定，可再生能源规划内容应当包括发展目标、主要任务、区域布局、重点项目、实施进度、配套电网建设、服务体系和保障措施等。具体实施中存在相关规划不够衔接、执行不够到位等问题。

一是各级可再生能源规划不够衔接。检查中发现，国家可再生能源发展目标和规划缺乏约束性，一些地方可再生能源开发利用中长期总量目标未严格依照全国总量目标确定，地方规划发展目标超过上级总体目标，建设规模、布局和速度也与上级规划不一致。如国家“十三五”规划中确定新疆风电发展目标为1800万千瓦，而新疆可再生能源“十三五”规划中确定风电发展目标为3650万千瓦，远超国家规划目标。

二是可再生能源开发规划与电网规划实施中缺乏衔接。一些地方反映，电网规划建设与可再生能源开发利用不适应，电网建设滞后于可再生能源发展，输电通道不足，且部分输电通道能力未达到设计水平，可再生能源电力输出受阻问题比较明显。如我国“三北”地区新能源装机达到2.3亿千瓦，本地市场有限，跨区外送能力只有4200万千瓦，仅占新能源装机的18%。灵活性电源比例不尽合理，蓄能电站规划建设较为滞后，影响电网稳定性，不利于可再生能源消纳。

（二）可再生能源消纳压力仍然较大

法律第13条规定，国家鼓励和支持可再生能源并网发电。检查中发现，受多种因素影响，一些局部地区弃电率仍然偏高，可再生能源消纳问题仍需重视。

“十二五”以来，我国包括可再生能源在内的各类电源保持快速增长，而用电需

求不够平衡，消纳市场容量不足。可再生能源富集区与用电负荷区不匹配，一些地方出于利益考虑不优先接受外来电力，行政区域间壁垒严重，可再生能源异地消纳矛盾较为突出。

同时，我国电源结构性矛盾突出，缺少抽水蓄能等灵活调节电源与可再生能源匹配，特别是在冬季供暖期，煤电机组热电联产与可再生能源电力消纳矛盾更加突出。如吉林装机容量是用电负荷的 2.6—5.8 倍，省内电源持续富余，特别是在冬季供暖期，保证供热的火电最小发电出力比低谷用电负荷高 210—320 万千瓦，电网调峰困难。

由于一些可再生能源资源富集的重点地区缺乏针对性政策安排，可再生能源电力消纳压力很大，一定程度影响和制约了可再生能源的健康快速发展。

（三）全额保障性收购制度落实尚不到位

法律第 14 条规定，国家实行可再生能源发电全额保障性收购制度。检查中发现，个别省份暂未达到国家规定的最低保障收购年利用小时数，且存在以低于国家有关政策明确的电价水平收购的情况。

如宁夏 2018 年自行制定风电最低保障性收购利用小时数为 750—850 小时，远低于国家核定的 1850 小时最低保障收购小时数。甘肃 2018 年自行设置的风电、光伏发电保障性收购小时数分别为 774 小时和 479 小时，距国家保障性收购政策规定的风电 1800 小时和光伏发电 1500 小时差距较大；实际风电、光伏发电利用小时数中，大部分电量属于低价市场化交易，发电企业合法权益保障不足。

（四）电价补偿和发展基金问题较为突出

法律第 20 条规定，收购可再生能源电量所发生的费用，高于按照常规能源发电平均上网电价计算所发生费用之间的差额，由在全国范围对销售电量征收可再生能源电价附加补偿。

法律第 24 条规定，国家财政设立可再生能源发展基金，资金来源包括国家财政年度安排的专项资金和依法征收的可再生能源电价附加收入等。检查中各地反映，电价补偿政策落实不到位，补贴资金来源不足，补贴发放不及时，影响企业正常经营和发展。国家相关部门反映，现行可再生能源发电补贴政策已远不能满足可

再生能源发展需要。目前征收总额仅能满足 2015 年底前已并网项目的补贴需求，“十三五”期间 90%以上新增可再生能源发电项目补贴资金来源尚未落实。

一是可再生能源电价附加未及时调整。2016 年可再生能源电价附加征收标准提高到每千瓦时 1.9 分，后期未作调整，其他资金来源不足，补偿缺口逐步扩大。

二是电价附加未依法严格征收。第三方评估报告指出，2015—2018 年可再生能源电价平均附加征收率仅为 84.4%。各地方广泛存在着只对公共电网工商业用户征收，对自备电厂用户、地方电网用电长期未征、少征等问题。

三是发展规模缺乏有效控制。可再生能源发展初期，电价调整滞后于技术发展水平，部分可再生能源企业追求高投资回报，非理性投资，抢装机、抢上网问题突出，一些地方未按照国家规划有效控制本地区发展规模，加剧了补贴缺口。

（五）与相关财税、土地、环保等政策衔接不够

法律第 25、26 条分别规定，对列入国家可再生能源产业发展指导目录的有关项目，金融机构对其提供优惠贷款，国家给予税收优惠。

检查中一些企业反映，可再生能源企业特别是民营企业贷款难、贷款贵问题仍然存在。第三方评估报告指出，财政贴息政策没有落实，优惠贷款政策未覆盖可再生能源领域。

一些地方反映，可再生能源开发利用与土地管理、生态环境保护等政策衔接不够，相关部门监管协同不够，可再生能源建设布局、开发规模受政策调整影响较大。河北是京津冀重要的生态环境支撑区，青海自然生态系统敏感脆弱，可再生能源开发利用更要重视与资源环境相关政策的衔接，可再生能源绿色高质量发展任务艰巨。

企业反映，有的地方土地税费征收不规范，税收减免措施落实不到位，造成非技术成本高昂。

另外，现行政策对可再生能源开发利用全生命周期生态环境效益考虑不足，重视前期开发利用，忽视产品末端回收。风力发电机寿命为 20 年左右，太阳能板使用寿命为 25 年左右，早期投产的可再生能源设备陆续进入报废期，废弃物回收

处理处置需要规范管理。

（六）可再生能源非电应用支持政策存在短板

法律第 16、17 条明确国家鼓励发展生物质燃气和热力、太阳能热利用等。实际工作中，各类型可再生能源之间发展不平衡，可再生能源非电应用明显滞后于发电类项目，太阳能热利用、地热利用以及生物质燃料的发展都较为缓慢。

企业反映，可再生能源非电应用政策支持和经济激励力度不足，生物质热力、生物燃气、生物柴油等产品缺乏具体的支持政策，受特许经营限制，难以公平进入市场。生物质能开发利用对于改善民生、助力脱贫攻坚、保护生态环境等具有更加直接的作用，应统筹考虑其环保效益和社会效益，加大财税政策支持力度。

另外，一些地方反映对可再生能源用户企业支持政策尚有不足。

（七）可再生能源技术研发应用仍需加强

法律第 12 条规定，支持推动可再生能源开发利用的科学技术研究、应用示范和产业化发展。虽然我国可再生能源技术水平取得显著进步，但在技术研发能力、装备制造质量、工程技术创新、公共技术体系建设方面仍需进一步加强。

一是部分核心技术研发能力偏弱。大容量储能技术尚存在技术瓶颈，安全经济的新型储能产品有待突破。风电机组轴承国产化程度不高，风电机组控制机组核心元器件、部分高效光伏电池生产装备主要依赖进口。

二是电网接入和运行技术有待快速提升。电网运行控制技术、智能化水平、灵活调节能力以及新能源功率预测技术等，均需要提升到适应高比例可再生能源并网运行水平。

三是生物质能相关技术有待突破。成型燃料、生物燃料乙醇、生物质气化等存在技术瓶颈。

四是可再生能源标准化建设、开发利用装备公共检测试验能力有待提升。

（八）可再生能源行业监管力度不够

可再生能源法规定了各级政府部门、相关企业的权利义务，具体实施中由于相关

责任主体不够明确、缺乏有力监管等原因，造成对执行不到位的难以实施处罚。

法律第 28—31 条规定了相关部门、电网企业、燃气和热力管网企业、石油销售企业的法律责任，但自法律颁布实施以来，尚未有因违反可再生能源法获得相关行政处罚的案例发生，法律责任条款并未有效落实。

四、意见和建议

（一）做好顶层设计，提高规划的科学性和协调性

国务院有关部门要开展好可再生能源发展“十四五”规划和中长期发展战略研究，根据我国能源转型方向和各地可再生能源资源禀赋特点，做好可再生能源发展的顶层设计。严格落实可再生能源法中关于规划制度的要求，突出规划的科学性、前瞻性和约束性，科学合理确定可再生能源发展目标和发展时序，统筹可再生能源开发、输送、利用各环节的部署安排，积极促进可再生能源产业持续健康发展。

地方各级能源主管部门要以国家规划为依据，按照法律规定的程序制定本行政区域可再生能源开发利用规划，加强各级规划的有效衔接。结合实际、因地制宜统筹安排可再生能源发展规模、布局、时序，科学有序开发利用可再生能源。

相关部门和单位要加强电源和电网、可再生能源和常规能源、可再生能源与应对气候变化等相关规划统筹衔接，保证各项规划的目标、任务和措施相互配套。加强可再生能源发展规划与国土空间规划统筹协调，依法对可再生能源发展相关专项规划开展环境影响评价，促进生态保护和可再生能源持续协调发展。加强可再生能源发展规划执行情况的事前事中监管，完善定期追踪和评估机制，严格规划目标执行情况考核。

（二）完善体制机制，统筹解决可再生能源消纳问题

国务院相关部门要加快建立统一协调的体制机制，加强沟通衔接，共同研究和统筹处理好可再生能源开发和消纳利用的关系，进一步提高可再生能源利用率。

结合电力体制改革，抓紧研究有利于可再生能源大规模并网的电力运行体制和机制，完善以可再生能源利用指标为导向的能源发展指标考核体系。

结合北方冬季清洁取暖等相关政策推进实施，鼓励分布式可再生能源自发自用，

促进就地消纳利用。

完善可再生能源电力市场交易机制，打破省间电力交易壁垒，鼓励送受两端市场主体直接开展交易，有针对性地建立可再生能源发电参与电力现货市场交易的体系。积极引导和规范电力市场建设，通过市场化方式提升可再生能源消纳能力。

电网公司应加强输电通道建设，提高可再生能源电力跨区域输送能力。

（三）加强统筹协调，综合研究解决补贴资金拖欠问题

国家发展改革、财政、能源等部门要进一步完善可再生能源价格补贴政策，保持相关政策的科学性和连续性，合理确定电价附加征收标准动态调整和补贴退坡有关政策的调整方向、节奏等，稳定企业预期。

要统筹考虑政府财政支撑能力、环境保护和改善民生需求等多方面因素，开拓思路提出解决存量项目补贴缺口的新办法，采取有效措施控制新增项目补贴需求。

强化可再生能源电价附加征缴，自备电厂应缴费用做到应收尽收，增加基金收入。

鼓励可再生能源发电通过参与电力市场化交易、绿色电力证书交易等方式减少补贴需求，研究出台鼓励存量项目自愿转为平价项目的政策措施。

进一步合理控制新增项目开发规模和建设时序，规范补偿范围、优化补贴发放程序，缩小补贴缺口，逐步实现收支平衡。

制定鼓励企业自发自用可再生能源的政策。充分发挥财政资金的杠杆作用，加大对民营企业和可再生能源发电企业的金融支持力度。

（四）健全政策措施，实现可再生能源持续健康发展

根据不同种类可再生能源的发展阶段，区别制定发展政策，对产业相对成熟的，适当减少政策支持规模和力度，鼓励其参与市场化竞争；对有发展潜力、进展较为缓慢的，加大政策和财政扶持。

处理好可再生能源开发利用同生态环境保护的关系，研究完善环境污染防治及废弃物回收处理相关规定。推进抽水蓄能等储能电站建设、加强火电灵活性改造，提高电力系统调峰调频能力。

进一步完善分布式能源、综合能源微网发展的鼓励机制和政策。

进一步强化生物质燃料、可再生能源热利用等可再生能源非电应用的政策支持，加大资金扶持力度，完善配套政策及相关规定，在入管入网入市等方面规范标准、简化程序，为可再生能源在各个领域推广创造条件。

严格落实国家对可再生能源开发利用项目的增值税、所得税、费用减免等税费支持政策，降低企业非技术成本。完善可再生能源统计评价体系，将各类可再生能源利用情况全部纳入考核指标体系，倒逼可再生能源全面发展。

（五）坚持科技创新，推动解决发展中出现的问题

按照国家能源发展整体布局，建立和完善可再生能源科技创新体系，提高技术创新能力和装备制造水平。

鼓励企业开展风电开发关键技术创新攻关，推动核心元器件国产化进程，提升产品的稳定性和可靠性，加强深海、远海风电开发技术的研发和推广。

紧跟世界研发方向和前沿技术，探索太阳能电池低成本制造、新型电池开发、提高电池使用寿命等相关技术研发，适时开展示范，推动产业化进程。

加快生物天然气和液体燃料的技术创新与发展，形成产业的核心设备研发能力和检测认证体系，支持推进相关产业化进程。加快扩大地热供暖在北方地区清洁取暖中的规模 and 商业化应用，探索地热能梯级综合高效利用技术体系和商业模式。

加强可再生能源多能互补系统集成优化技术研究和示范，提升能源系统整体效率。

推动智能电网、柔性直流、特高压等先进输配电技术发展，开展储能、负荷侧调节等新技术应用，促进高比例可再生能源与电力系统融合，提升可再生能源电力的安全可靠应用水平。

支持建立可再生能源技术公共技术研发平台、关键设备检测试验平台，提高公共技术服务能力和标准化水平。

（六）进一步修改完善可再生能源法

根据推进生态文明建设和能源结构调整的总体要求，针对当前可再生能源发展的

新形势、新问题，建议适时启动可再生能源法修改。

在立法目的中充分体现党中央关于推进生态文明建设以及推动能源生产和消费革命的战略部署，进一步修改完善可再生能源全额保障性收购制度，综合考虑经济技术条件，制定合理的新能源利用率目标，明确由电网企业、售电企业和电力用户共同承担全额保障性收购责任的法律定位。

明确规定可再生能源目标引导以及可再生能源电力消纳责任权重考核机制，形成更加科学合理的目标责任考核体系。

适当调整有关电价补贴的规定，加快完善可再生能源上网电价市场化形成机制。

明确对脱贫攻坚任务重、相关综合试点地区给予政策优惠等。细化支持可再生能源非电应用的规定，加大政策和资金扶持力度。

细化相关法律责任条款，强化电网、石油、燃气、热力等企业的法律责任。

16、中国碳中和框架路线图研究

时间：2021.7.7 来源：科学大院

原文链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/tMcMUiWiK6pYnUzQRd1JEw>

各位院士，针对“双碳目标”（编者注：“双碳目标”指碳达峰、碳中和），中国科学院学部设立了一个重大咨询项目——“中国碳中和框架路线图研究”，由张涛院士、高鸿钧院士和我来牵头，下面我简单介绍一下这个项目要研究的主要内容。

碳中和是什么？如何实现？

“双碳行动”是应对气候变暖的国际行动的一部分。欧盟国家是“碳中和”的首倡者，他们提出要在2050年达到碳中和。我国去年9月承诺，2030年碳达峰，2060年达到碳中和。多年以来，美国由于党派争执，对待气候变化问题的态度一直摇摆不定，但是民主党上台以后，他们提出的目标还是非常激进的，尤其是提出2035年要达到无碳发电，2050年要达到碳中和。鉴于美国这么多年来反

复立场，其如何落实到实际行动上，还是要“走着瞧”。现在有不少国家都在制定碳中和计划，但我们认为这是一个雄心勃勃但又极其艰难的目标。

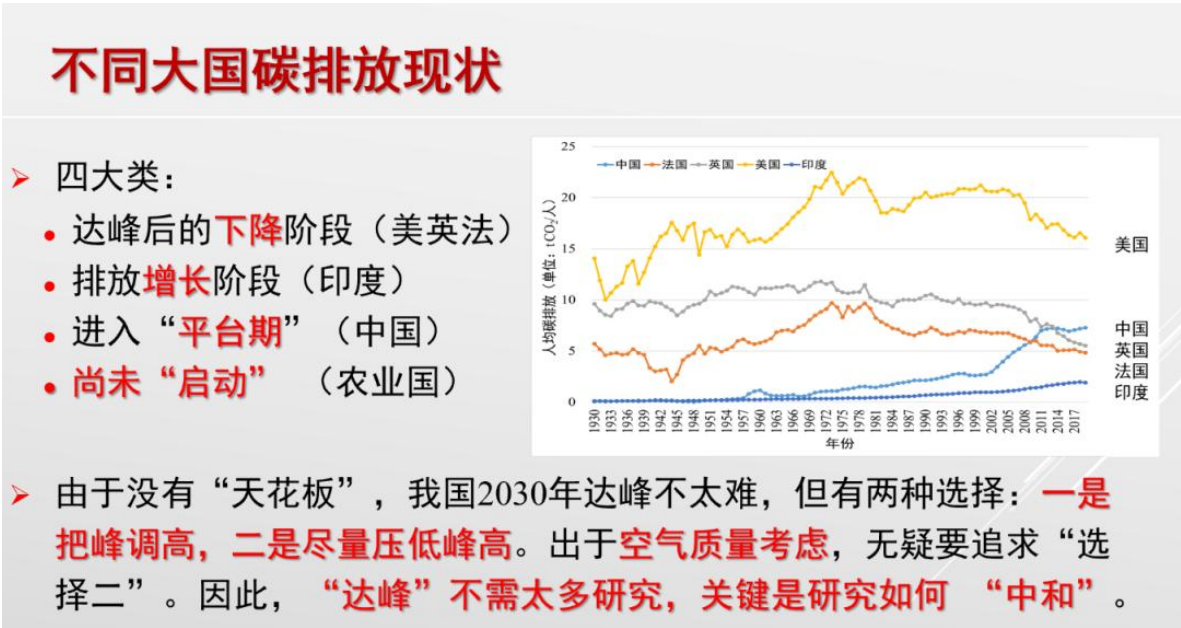


图 1 不同大国碳排放现状

图 1 是一些典型国家 1930 年到 2019 年之间人均碳排放量的变化情况。我们能够看到，美国自 1930 年以来，一直是人均碳排放量最高的国家。1970 年代，美国人均碳排放量达到了最高峰，之后开始下降，英国和法国大概也是在上世纪七十年代到八十年代达到最高峰。经常有人讲，“从碳达峰到碳中和，美国有 60 年时间，而中国只有 40 年”，其实这个表述是不够准确的，欧洲国家和美国从碳达峰到碳中和实际上是有 70 到 80 年的时间。

从人均角度来分析的话，美国、英国、法国的碳排放已经处于下降阶段，正在走向碳中和。印度的人均排放量增长刚刚“启动”，大概相当于我国 60 年代的人均排放水平，尚未真正到达快速增长时期。我国基本上从 2012、2013 年开始就进入了碳排放的“平台期”。世界上还有许多农业国家尚未启动工业化，所以还没有”启动“碳排放。

现在我们有二个目标，一个是碳达峰，一个是碳中和。在碳达峰上，达到什么样的高度，我们并没有一个天花板，也没有设定一个具体目标。理论上有两种选择，

一种是把峰调高，以后的减排数据会好看一点；第二种是尽量把峰值压低。我个人认为，出于改善空气质量的考虑，还是要追求尽量把峰值压低。所以，碳达峰其实不需要太多研究，要研究的问题主要是如何实现碳中和。

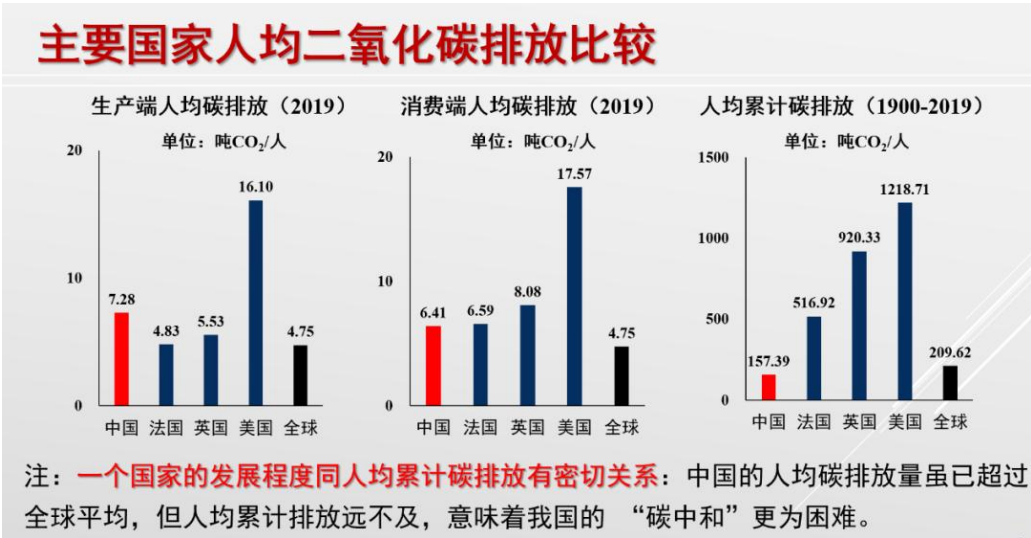


图 2 主要国家人均二氧化碳排放比较

图 2 显示的是主要国家人均碳排放的对比。我国的生产端人均二氧化碳排放量是 7.28 吨/年，高于全球平均水平，不过比美国要低很多；从消费端来看，我们的人均排放量比英法美都低；最核心的是图 2 最右边图中展示的人均累计排放，大家都知道，一个国家的发展，尤其是基础设施建设，是逐年累积的，这张从 1900 年算起的人均累计排放对比图显示，全球平均水平是 209 吨/人，我国才 157 吨/人，美国是 1218 吨/人，欧洲的法国、英国这些国家都比我国多得多。所以计算人均累计碳排放，我国远远低于全球平均，这个结论大家一定要记住。我国现在的碳排放总量比较高，这和我国经济发展比较快有关。从这个角度看，我国的碳中和应该会比其他国家要困难，大家心里应该有数。

碳中和的概念，就是人为排放的二氧化碳（化石燃料利用和土地利用），被人为努力（木材蓄积量、土壤有机碳、工程封存等）和自然过程（海洋吸收、侵蚀-沉积过程的碳埋藏、碱性土壤的固碳等）所吸收。目前全球每年排放的二氧化碳大约是 400 亿吨，其中 14%来自土地利用，86%来自化石燃料利用。排放出来的这些二氧化碳，大约 46%留在大气，23%被海洋吸收，31%被陆地吸收。这个数据可能不是特别准，但一百年以来碳循环基本上就是这么一个规律。

碳固定过程非常多，我在这里举一个不被大家特别关注的例子——土壤。干旱、半干旱地区的碱性土壤中含有很多钙离子，不像南方酸性土壤钙离子很少，这些钙离子和大气中的二氧化碳结合，降水的时候就会淋溶形成碳酸钙沉淀，这是一个非常强大的自然过程。做黄土研究的专家经常说，黄土里面有料姜石，这就是碳酸钙的结核，还有在温暖时期沉淀下来的钙板。我国有大面积的干旱半干旱地区，这个自然过程对碳的固定，是一个非常重要的过程。

接下来讲未来碳中和的主要途径。我们要考虑到，接近 2060 年的时候，因为人为排放下降了，二氧化碳分压降低，海洋吸收可能也会相应降低，但降低的幅度现在很难预测。陆地土壤沉积的固碳过程还是会存在，甚至有可能会加强。所以，不得不排放的二氧化碳，就要通过生态建设、工程封存等措施去除掉，这样才能达到中和。

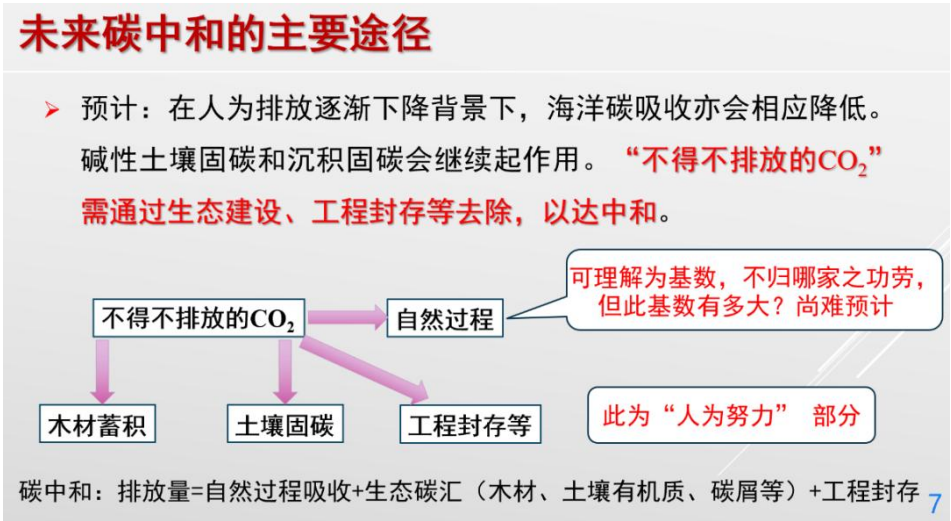


图 3 未来碳中和的主要途径

需要特别说明的是，自然过程吸收二氧化碳的量，只能理解为自然界存在的一个基数，比如海洋吸收的碳就不能归结为哪个国家的功劳。我们要考虑如何依靠人为努力，比如生态建设、工程封存、土壤固碳等措施来进行碳固定。也就是说，碳中和等于排放量同自然过程吸收、生态碳汇、工程封存等等抵消。

中国如何达到碳中和

我们这个学部咨询项目是从排放端、固碳端、政策推动这几个角度来考虑的。要特别说明，这个项目只是想把碳中和框架设计出来，把问题清单列出来，至于碳

中和具体怎么做，还需要大家共同进行大量的研究。我们现在只是设计一个初步路线图，供大家研讨完善。这个咨询项目设立了九个专题，我把每个专题简单向大家报告一下。

专题一：未来能源消费总量预测

第一个专题由江亿院士他们来负责。这个专题要解决的一个核心问题是，在不同时间节点（面向 2060），我国居民生活、工业、建筑、交通等重点领域的能源需求以及全社会能源总需求。

这里有个主要的几个边界条件要明确：

一个是到 2035 年，我们 GDP 比目前还会翻一番，2060 年还需要再翻一番，达到人均 4 万美元，生活水平也要相应地同发展阶段相当，产业结构从目前的中低端发展到中高端。

另外一个因素就是人口变动，少子、老龄化这些因素必须考虑进去，要建立一个预测的模型。但预测常常是不准的，2009 年有部门预测 2020 年我国一次能源消费将达到 44 亿吨标准煤，但实际上 2020 年我国一次能源消费达到 50 亿吨标准煤。所以我们希望高中低都有预测，不要局限于某一种观点。

专题二：非碳能源占比阶段性提高途径

这个专题要解决的核心问题是，我们需要一个什么样的新型能源供应系统，尤其是电力供应系统，如何逐步增加非碳能源，特别是风、光、水、地热、核等的比重。

其次，我们要重点回答，中国西部有丰富的风、光资源，如何从各种发电、储能、转化、输电、消纳等等环节协调发力，让这些资源得到有效充分利用。

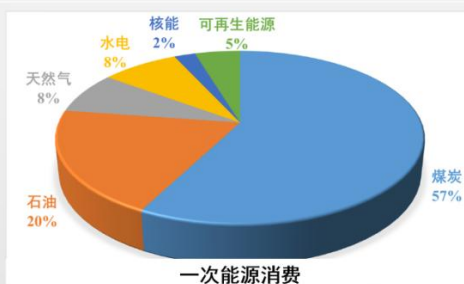
尤其要解决的问题是，由于风、光资源的时空分布不平衡，如何保证稳定输出，需要一套什么样的基础设施来保证稳定输出，这是一个非常大的问题，也需要有一个框架。

目前我国一次能源比例

➤ 2019年我国能源总消费 48.6亿吨标准煤；

➤ 2019年我国能源利用总排放 98.26 亿吨CO₂。

➤ 假如我们设定2060年能源利用排放不超过20到25亿吨CO₂，就需要以能源需求为依据，绘制出不同阶段能源结构调整路线图，以及实现这个路线图的技术组合和基础设施组合。



13

图 4 目前我国一次能源消费比例

另外关于新型电力系统的能源供应系统，我们需要列出一个技术清单，到底需要哪些技术，作为未来研究方向。图 4 是我国 2019 年一次能源消费情况，可以看出，非碳能源实际上只占 15%，另外 85%是煤、油、气，这是一个非常严峻的现实。我国现在大约排放 100 亿吨二氧化碳。假如到 2060 年，我国还不得不排放 20 到 25 亿吨二氧化碳，在这样的情景之下，我们该怎么办？

现在初步的认识是：非碳能源占比不会是线性提高的，主要靠技术组合和技术突破。煤炭作为主力能源，还会存在较长一段时期，因此煤炭清洁利用技术的进步仍需十分重视。另外一个核能，我们不该追随某些“弃核国家”的脚步，还要加强核能利用，甚至在内陆地区建厂，把核能充分利用起来。尤其是西部干旱地区的风、光资源，是我们实现碳中和最大的底气，我们要考虑如何来稳定输出。

专题三：不可替代化石能源预测

这个专题的核心问题是，不可替代的化石能源必然会转化为不得不排放的二氧化碳，对于这部分排放要有一个预测，来自于何处、来自于什么行业、总量有多少。

我们现在讲碳中和，首先要考虑替代，就是用电、热、氢能等来替代，来减少二氧化碳排放。不同行业、不同领域的替代难度肯定是不一致的，我们能否从目前的情况来按照难易排序，这是非常关键的。

其次，我们能否确定不可替代的领域有哪些？在这些领域不得不排放二氧化碳，

那就是碳中和需要中和掉的部分，我们就需要进行针对性预测。现在初步认为：居民生活比较容易用电力、地热、太阳能来替代，关键在于国家如何推动；交通领域，目前正在大力发展电动汽车，以后可能用氢能驱动船和飞机等，这个替代可能只是个时间问题；农业领域大部分也可以替代；比较难替代是工业领域，包括冶金、化工、建材、矿山等等如何替代，还需要特别研究。

另外，我们要克服风电、光电等输出不稳定性的问题。未来我们的电力系统如何保证稳定输出将是需要考虑解决的关键问题。美国提出来 2035 年就要实现无碳电力，中国什么时候实现低碳电力或者无碳电力，这也需要认真研究。

目前有很多国家对氢能寄予了很大希望，我们的院士当中也有不同的声音。氢能战略也需要国家拿出方案。我国大约 100 亿吨二氧化碳排放中，发电端占比约 47%，消费端如工业过程、居民生活等等占了 53%，要实现碳中和就需要在发电端用更多的非碳能源来发电、在消费端用电和氢能等来替代，构建一个两端共同发力的系统。

专题四：非碳能源技术研发迭代需求

非碳能源技术发展是个迭代的过程，需要逐渐进步，但具体分几步来做是一个问题。大化所的刘中民院士他们提出来三步走，第一步是化石能源的清洁高效利用与耦合替代；第二步，可再生能源多能互补与规模应用；第三步，低碳能源智能化多能融合。具体怎么做，还需要进一步探讨。这个问题最后还要和第二个专题一起“收口”。

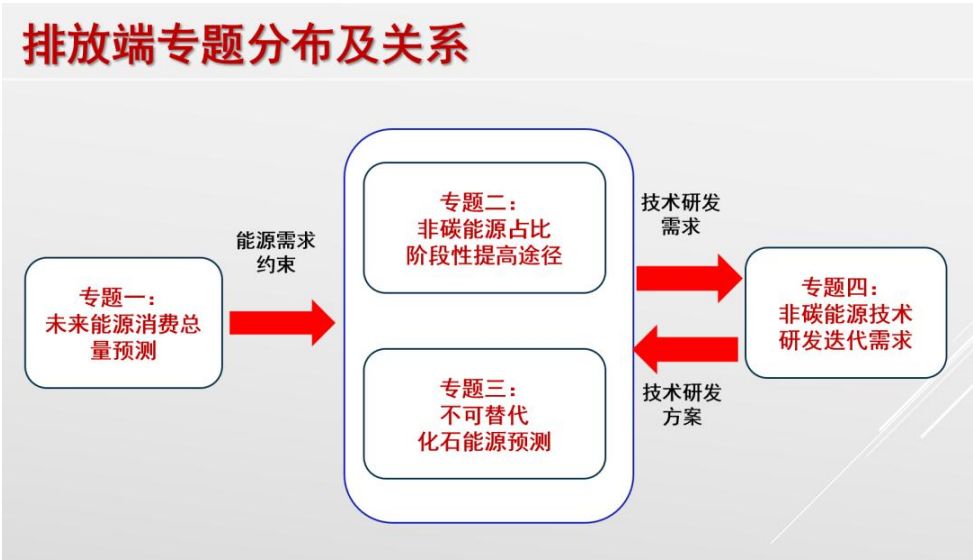


图 5 排放端专题分布及关系

前四个专题主要研究排放端。在固碳端，我们也列了四个专题。

专题五：陆地生态系统固碳现状测算

第五个专题是关于我国陆地生态系统的固碳现状，就是说我国生态系统现在到底有多少固碳能力，以及碳汇的功能与速率，不同有机碳之间什么时候会达到平衡？还有我刚才讲到的碱性土壤这个问题，目前的研究还很少，也需要加强研究。

中科院已经做过一些关于碳收支项目的研究。现在认为，我国目前地表碳储量相当于 363 亿吨二氧化碳，每年固碳速率是 10 到 40 亿吨二氧化碳，我们估计森林在 2060 年以前将会达到固碳的峰值，之后固碳速率就会降低。干旱半干旱区的土壤还很难估计。图 6 就是用不同的方法测算出来的碳源，数据差别比较大。

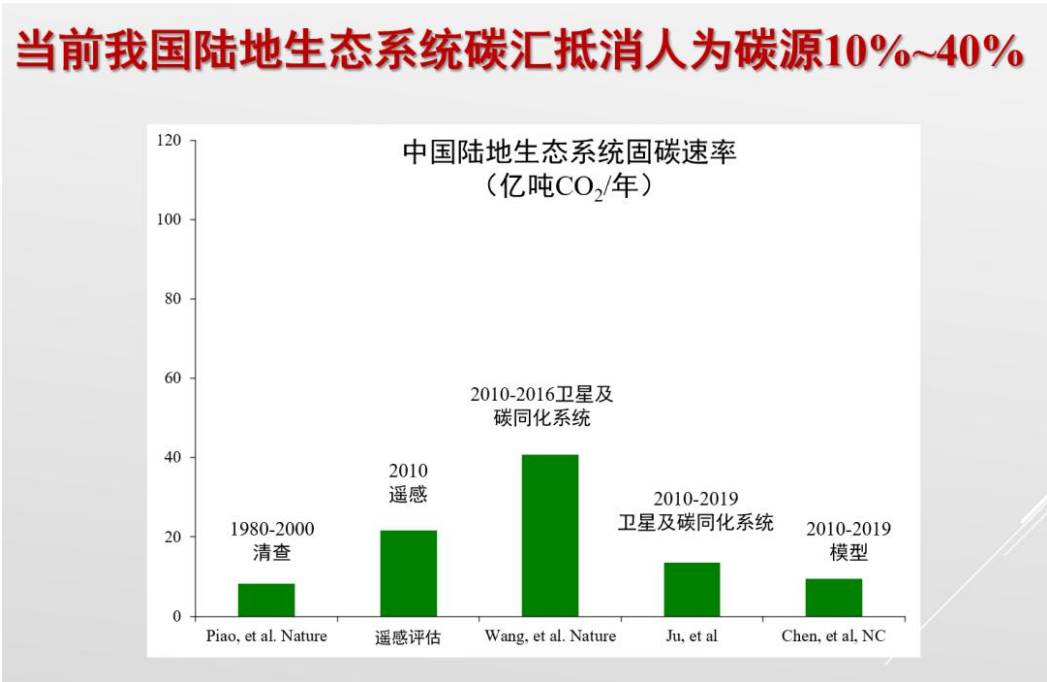


图 6 当前我国陆地生态系统固碳速率

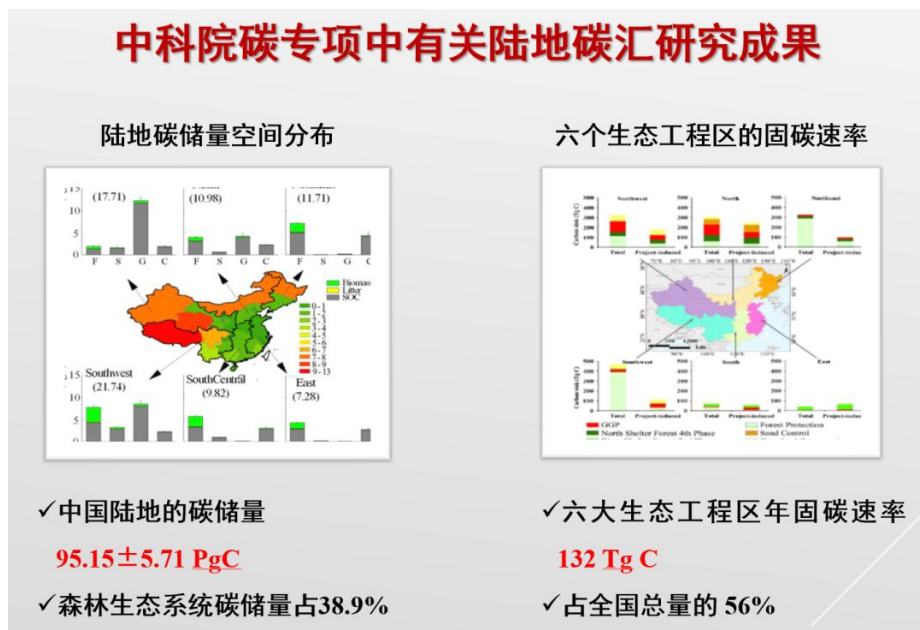


图 7 中科院碳专项中有关陆地碳汇研究成果

大家从图 7 上可以看出来，我国建设的生态工程固碳总量是非常大的，约占我国陆地生态系统年固碳总量的 56%，这是一个令人鼓舞的现象。

专题六：陆地生态系统未来固碳潜力分析

计算我国陆地生态系统未来固碳的潜力，主要有以下核心问题：

一是陆地和近海不同生态系统的固碳潜力如何，以及未来在气候变化影响下，它们会如何变化；二是我国生态恢复、建设工程这些面状分布区未来的固碳潜力如何；三是新增点状分布区的固碳潜力如何，比如城市造林绿化等；四是其他一些人为措施，比如南水北调西线工程上马后西部干旱区变绿、海水淡化等实现之后，在其影响下新增的固碳潜力如何；还有未来陆地生态系统增加碳汇的措施，比如秸秆闷烧成碳屑等。我们还需要研究证明这些增汇措施的长期性。

专题七：碳捕集利用封存技术评估

第七个专题是碳捕集利用工程封存技术。我们谈到的负排放技术目前有图 8 中列出的这些，包括将二氧化碳制成化学品、将二氧化碳制成燃料、微藻的生产、混凝土碳捕集、提高原油采集率、生物能源的碳捕捉和存储、硅酸盐岩石的风化和矿物碳化、植树造林、土壤有机碳和土壤无机碳、农作物的秸秆烧成木炭还田等

等。这些负排放技术中，前面几项是国际上所谓的 CCUS 技术，后面用红箭头标出的这两项——矿物碳化和生物炭，我国研究得还比较少。



图 8 全球实现碳中和的主要技术

这里的核心问题是，这些技术还需要进一步研究，现在还没有必要马上就大规模工程封存，那是要在 2060 年之前考虑的问题。目前这方面的技术进步是比较快的，未来会进步到什么程度还不好预测，但是我个人认为，最好不要单纯地封存，那样不产生经济效益，还是要想办法如何利用二氧化碳。

专题八：青藏高原率先达标示范区建议

第八个专题是建议在青藏高原建设一个率先达标的示范区。青藏高原在我国境内的面积有 250 万平方公里，我国正在建设青藏高原生态屏障，同时我国可能也要开发一些河流的水电，如果能把青藏高原建成一个率先达标示范区，我们就能够在气候变化问题上处于一个道德上的制高点。青藏高原固碳的潜力非常之大，因为它有很多退化的草地，所以我们现在要对它进行专题研究。

另外还要考虑，以后一个地区或一个行业的碳中和程度如何评价，这要从生产端、消费端共同来做，也需要拿出一个思路。

专题九：政策技术分析研究

第九个专题是政策如何推动的问题，包括如何推动非碳技术，如何进行生态建设增加碳汇。目前来说，我国在减排问题上，政府约束性政策大于市场机制，以后可能要更多地依靠市场来发挥作用。

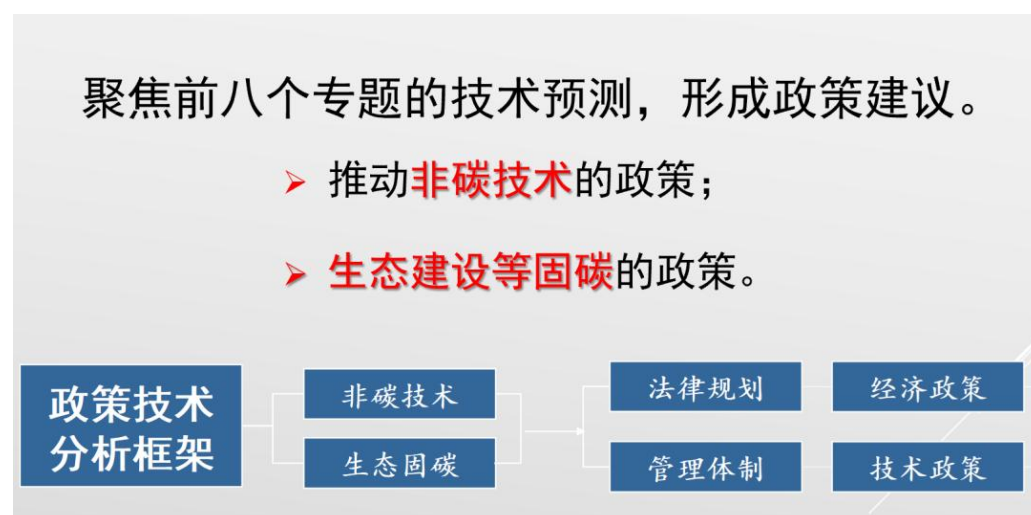


图 9 政策技术分析框

如图 10，这个项目最终会做一个情景设计：假如我国每年不得不排放 25 亿吨二氧化碳，这些排放来自哪里？根据目前观测比例，自然过程可以吸收 13 亿吨，如果生态系统吸收 8 亿吨，可能还要考虑用风化和碳酸钙沉淀吸收 2 亿吨，还有 2 亿吨可能要变成生物炭埋到土壤中。然后就是各种技术如何迭代，最后考虑如何收口。整个情景大概是这么一个设计。到 2060 年，如果我国能够做到 25 亿吨二氧化碳排放量，我个人认为是非常了不起了。

最后再说几个观点：

第一，“碳中和”过程既是挑战又是机遇，其过程将会是经济社会的大转型，将会是一场涉及广泛领域的大变革。“技术为王”将在此进程中得到充分体现，即谁在技术上走在前面，谁将在未来国际竞争中取得优势。国家需要积极研究与谋划，谋定而动，系统布局，组织力量，特殊支持，力争以技术上的先进性获得产业上的主导权，使之成为民族复兴的重要推动力，我们必须积极地看待这个问题。

第二，我们项目组强调：完成这个大转型，需要在能源结构、能源消费、人为固碳“三端发力”，所需之资金将会是天文数字，决不可能依靠政府财政补贴得以满足，必须坚持市场导向，鼓励竞争，稳步推进。政府的财政资金应主要投入在技术研发、产业示范上，力争加快我国技术和产业的迭代进步速度。在此过程中，特别要防止能源价格明显上涨，影响居民生活和产品出口。

第三，本项目只能先给出一个框架性建议，以供科技界讨论、修正、完善。期望汇聚众智后，学部的建议对我国如何推动此大转型，如何在未来国家创新体系中形成布局完善、责任明确的技术研发体系等重大问题，有实质性的指导意义。项目组也认为，我国学术界应该秉持开放的态度，广泛参与，发挥出想象力和创造力；国家有关部门在确定路线图的问题上可考虑先经历一段“百家争鸣”时期，千万不要急于“收口”，千万不要急于强力推进。

第四，这个大转型过程中，整个行业的协调共进非常重要。“减碳、固碳”“电力替代”“氢能替代”均需要增加企业的额外成本，如果某一行业不同企业间不能协调共进，势必会使“不作为企业”节约了成本，从而出现“劣币驱逐良币”现象。由此，分行业设计“碳中和”路线图及有效的激励/约束制度需尽早完成，这个非常关键。

第五，评价国家、区域、行业、企业甚至家庭的“碳中和程度”，需从收、支两端计量。从能源消费角度论，“支”（即排放）相对容易计量；“收”（即固碳）由于类型多样，过程复杂，很难精确计量，尤其是“人为努力”下的固碳增量不易确定。由此，国家要尽早建立系统的监测、计算、报告、检核的标准体系，以期针对我国的碳收支状况，保证话语权在我。

当然，这里面还有国际上的合作与斗争，比如未来的排放权如何分配？未来排放的天花板应该如何确定？“共同又有区别的责任”未来怎么来体现？西方国家一直在说“资金与技术援助”，但是一直没做，他们如何兑现？每个国家排放量如何计量？另外我国该如何应对西方国家的舆论抹黑，比如西方国家总说中国是第一污染大国，其实从图 2 看，我国人均累计排放量远远低于世界平均，但是我们没有人就此问题发声。另外，针对外国对我国绿色产品比如太阳能电池板设立高额关税，我国该如何应对？这里面有很多的问题需要思考。

还有一些基础性的科学问题需要研究，比如到底 1.5℃、2.0℃增温对应什么样的二氧化碳当量浓度？以前国际上经常说 450ppm 二氧化碳当量浓度，现在已经达到了这个浓度，但增温并没有达到 1.5℃。我个人认为，格陵兰冰盖融化之前，变暖对中国是有利的，融化之后海平面要上升，对中国就不利了，所以我们还是

要有一个研究目标。总之，科技界任重道远。

编制说明（必读）

- 本文由碳中和资料库知识星球社区编制完成，已于 2022 年 7 月 20 日在碳中和资料库公众号发布，供大家参考和使用。我们已经发布了《国家级碳中和产业政策白皮书》《省级碳中和产业政策白皮书》等 100 多篇专项汇总及深度报告，部分内容通过共享的 Excel 文档持续更新。
- **碳中和从业者的必备工具。**社区整理分享双碳相关资料内容超过万条，建立了 10 个板块，包括资料、培训、数据、文章、政策、问答、企业、专家、工具、视频、招标等，致力于建成碳中和综合服务平台，打造双碳工作的必备工具，已有 3000 多位用户加入。
- **开通年度会员获取全年内容。**扫描下方二维码加入星球下载全部资料，支持搜索、收藏、聊天、提问等功能，与两千位专业人士共同探索碳中和时代机遇，加入后可获得星球社区成立以来和未来一年的全部内容。
- **开通永久会员享受更大优惠。**扫描下方二维码，添加星主开颜微信，申请开通或升级为永久会员，可获得更多福利权益，年度会员升级为永久只需补交差价。



年度会员码



星主码（永久会员）

CO₂

碳中和资料库

· 碳中和从业者必备工具 ·

