开发超级芦竹 更换能源赛道 实现民族复兴

中国能源研究会副秘书长、节能减排中心主任王凡

中国农业风险管理研究会碳中和与农业生态安全工作委员会主任

我国提出的力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的双碳目标，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局，经过深思熟虑作出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺，是负责任的大国担当，也必然会带来一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。

我讲三个方面的内容。

一、实现双碳目标重点是减少化石能源

我国对能源消费中非化石能源占比提出的目标：到 2025 年，非化石能源占一次能源消费比重达到 20%左右；到 2030 年，非化石能源占一次能源消费比重将达到 25%左右；到 2060 年，非化石能源占一次能源消费比重要达到 85%以上。

目标至少说明两点：一是碳中和的重点是要大大提高非化石能源比重，减少化石能源比重；二是完成碳中和目

标任务十分艰巨。

我国能源结构中化石能源比重大

2021 年我国能源消费总量 52.4 亿吨标准煤，一次能源中化石能源占到 83.4%，非化石能源占比 16.6%左右。非化石能源的构成：

核电是碳排放最少的发电技术之一，核电可以替代煤电，成为稳定、经济的清洁能源。我国大陆在运核电装机容量为 5443 万千瓦，发电量约占发电总量的 5%。核电的发展取决于安全性能的进一步提高和社会公众的接受程度。

水电是清洁能源，可再生、无污染、运行费用低，便于调峰。我国已探明的水能资源蕴藏量，可开发的水能资源，都居世界第一位。我国已开发水电 3.94 亿千瓦，也居世界第一。水电开发也受水资源的约束。

我国风电、太阳能发电装机分别达到 3.36 亿千瓦、3.18 亿千瓦，均居世界第一位。但风电、光伏电的间歇性和不稳定性，决定了必须要有高效的、可带基本负荷的、可调节的发电机组作为支撑。

可控核聚变、液体阳光、可燃冰开采利用等新技术尚在研究和开发之中。

从现在到 2060 年，非化石能源占比要从 16.6%左右增加到 85%以上，任务十分艰巨。能源消费总量中，煤炭消费量占到 56.0%，减煤是重点。

煤电高效利用和转型是减碳的重点

一次能源中煤炭消费占比大，重点在燃煤发电。我国13亿千瓦火电中煤电占比达90%，每年消耗约20亿吨标准煤。是能源减碳的重点。通过近10年的实践，煤电高效利用已有明确的路线，但是，如果不尽快转型，就很难实现碳中和。

高效利用：一是新建电厂原则上采用超超临界，其供电煤耗须低于270克标准煤/千瓦时。；二是改造现有煤电机组。重点是亚临界机组，“十四五”期间改造规模不低于3.5亿千瓦”，约占我国煤电总容量三分之一。

需要说明的是，即使煤电机组效率达到50%，对应煤耗246g/kWh，二氧化碳排放仍有664g/kWh；CCUS（碳捕集、利用和封存）成本高（每吨约300元）、本身也要消耗能源（约10-20%）。所以仅靠提高煤电的效率，碳中和目标还是很难实现。

中央定的基调是先立后破，在燃煤发电上，目前我们还是保障煤电的清洁安全高效，保障煤电消纳新能源的优势，保障煤电压仓石的作用。但是，我们也需要有战略思考，从长远看，为了实现碳中和的目标，为了我国能源自立，为经济发展提供保障，为了早日实现中华民族伟大复兴，煤电的转型也已经等不得了。我们认为，目前比较现实的转型，除了加快发展水电、核电和风电、光伏等新能源，

就是要大规模推广种植和利用新型植物能源——超级芦竹，积极推动在役煤电机组掺烧植物燃料，积累经验，直至燃煤替换。

二、能源转型优选超级芦竹

煤电转型归根到底是要大幅减少发电燃煤，从而减少化石能源的使用。武汉兰多生物科技公司，经过数年的研发，培育出的新型植物能源，我们定义它为超级芦竹，为替代燃煤甚至替代化石能源提供了可能。

新型植物能源——超级芦竹

超级芦竹是以我国本土野生芦竹为母体，采用现代生物育种技术进行科学诱导驯化、组培繁育出的新型高产能源作物。

超级芦竹有良好的自营养性能，其根部的酶有强大的固氮能力，肥源主要来自于空气中的氮，不占用耕地良田，可在荒地、滩涂地、沼泽地、盐碱地、废弃矿区、重金属污染地以及退化土壤地等 PH3.5-PH9 的土壤环境生长。

超级芦竹具有吸收二氧化碳效率高、吸附重金属能力强、产量大、变异率低、田间管理少、病虫害少、气候及土壤适应性强等优势。一次种植可连续收割 15-20 年，干生物量达 3-10 吨/亩/年、吸收二氧化碳 8.5 吨/亩/年、释

放氧气 6 吨/亩/年以上。超级芦竹生长产生的干生物量、吸收二氧化碳量、释放氧气量，约为热带森林的 5 倍、玉米秸秆的 7 倍、水稻秸秆的 15 倍以上。

利用边际土地种植超级芦竹，每亩收入可以超过 2000 元，比利用耕地种植粮食收入还多，有利于增加农民收入和乡村振兴。

中科院已经对规模种植超级芦竹地块进行过环评，事实证明超级芦竹属于环境友好型植物。

目前，兰多公司已经基本形成了从野生芦竹迁地保护、品种选育、组培快繁、GAP 驯化、标准化栽培，到深加工能源植物种植及资源化全产业链的技术储备。

超级芦竹替代化石能源

超级芦竹的热值为 4200-4500 大卡，可以替代燃煤电厂的燃煤。这种做法，不会增加大气中的二氧化碳，仅仅是将植物生长期吸收的二氧化碳，燃烧时又释放出来，被国际上公认为零碳发电。

华能日照燃煤电厂已经基本完成生物质能掺烧 10% 的改造，将于近期投产。位于英格兰约克郡的英国最著名、也是最大的 Drax 电厂，6 台 66 万千瓦机组，于 2003 年就开始了生物质耦合发电的尝试，如今已成为全球生物质发电行业最大、最有名的领导项目。2020 年 3 月起，Drax 电厂已经彻底告别煤电，100% 改为植物燃料替代。改造费用约

为机组总投资的 20%。

去年年底，我们对规模种植的超级芦竹进行测产，种植的第一年产量超过 1.5 吨；第二年产量超过 3 吨；第三年超过 5 吨。有 2 个地块产量达到 8-10 吨。国家电投上海成套院对超级芦竹取样测出的热值为 4350 千卡。

我们完全有信心，用超级芦竹替代作为燃料使用的化石能源。让煤炭、石油、天然气作为化工原料使用。这才是对资源合理、经济地利用。

超级芦竹替代化工原料

采用具有我国自主知识产权的大型快速绝氧热解多联产新工艺，可以用超级芦竹生产出氢气、天然气、生物炭。整个深加工工艺具有热效率高（大于 85%）、处理规模大、加工成本低、环境友好等优势。

1 吨干生物量超级芦竹可生产：1180 立方米氢气；或者 336 立方米天然气；或者 208 立方米天然气+300 公斤生物炭；或者 610 立方米氢气+300 公斤生物炭。利用超级芦竹生产的氢气，每立方米成本 0.8 元，而采用电解水制氢，成本要超过 2.5 元。

将超级芦竹经过裂解，直接转化为氢气、甲烷、一氧化碳、生物炭，处理 2 万吨/年芦竹的深加工工艺已经打通，正在建设 5 万吨/年的示范生产线。这一路线不仅能提供清洁的氢能，通过下游成熟的合成工艺，还可以生产天

然气、汽柴油、航空煤油，并能提供原来只能由化石能源才能生产的甲醇、乙醇、氨、乙二醇、烯烃、芳烃等化工原料。现有技术路线已经可以使产氢成本为电解水制氢成本的三分之一。

超级芦竹有超强的碳汇能力

超级芦竹具有超强的二氧化碳吸收能力。芦竹为多年生植物，直立、丛生、根系发达、植株高大，株高一般为5-8米；属典型的四碳植物，具有较高的光合速率。每吨干物质超级芦竹需要吸收1.71吨二氧化碳，每种植1亩超级芦竹，每年可吸收大气中的二氧化碳约7~15吨。目前，我国碳汇交易，每吨约50元人民币；欧洲碳汇交易每吨已达到100欧元。

我国有33亿亩森林，国家林草局副局长刘东生表示，目前我国的森林植被总碳储量已达92亿吨，平均每年增加的森林碳储量都在2亿吨以上，折合碳汇8亿吨。如果我们种植1亿亩超级芦竹，年吸碳量就会超过我国33亿亩森林吸碳总和。

我国每年排放到大气中的二氧化碳达100多亿吨，占全球二氧化碳总排放量的近27%。大规模种植超级芦竹，也将是我国提前实现碳达峰、碳中和的最经济、最现实的举措。

三、能源换道超车实现民族复兴

种植利用超级芦竹是能源生产方式的颠覆

过去，我们从地下开采出化石能源；现在，我们可以在地上种出植物能源。化石能源，是远古时代的植物埋到地下后，在高温和高压下，经过上亿年才完成了向化石能源的转换过程。现在，我们通过规模种植超级芦竹，再进行加工，只需要1年时间，就能生长出可以替代燃煤的植物能源，进而还可以通过热解工艺，只需6-9秒钟，就可以生产出低碳清洁能源——绿色氢气、绿色天然气及生物炭。

这种种植利用超级芦竹的方式是能源生产方式的颠覆。将来，煤炭、石油、天然气等化石都不应该作为燃料使用，而只作为原料来使用。化石能源当成燃料使用既是极大的浪费，也是最大的碳排放源。

把能源牢牢掌握在自己手中

能源是工业的粮食，国民经济的命脉。“能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要”。“能源的饭碗必须端在自己手里”，这是对历史经验的深刻总结，是着眼现实的深刻洞察，更是面向未来的深刻昭示。

我国有960万平方公里土地面积（144亿亩），除基本农田18亿亩以外，有边际土地25亿亩、盐碱地15亿亩。

可以充分利用长江、黄河流域拥有的大量湿地、滩涂地，沿海滩涂、盐碱地，废弃矿区、重金属污染地以及退化土壤地等边际土地，规模种植超级芦竹，替代化石能源。

经测算，种植 1 亿亩超级芦竹，可满足我国机动车保有量 2.4 亿辆全年的用氢量；种植 2 亿亩超级芦竹，即可满足我国每年的天然气供应量（3500 亿立方米）；种植 4 亿亩超级芦竹，可替代我国全部的发电用煤（20 亿吨）。

也就是说，我们可以完全摆脱对进口石油和天然气的依赖，真正把能源的饭碗端在自己手里。

换道超车实现能源革命

用限制碳排放来阻碍中国经济发展是西方发达国家蓄谋已久的手段。西方发达资本主义国家从起草《联合国气候变化框架公约的京都议定书》开始，就把目标对准了我们。

我们利用土地辽阔的优势，规模种植利用超级芦竹，更换了能源产业的换道，发达国家再也阻碍不了我们。我们利用边际土地种植 4 亿亩超级芦竹，就能满足我国燃煤发电机组煤炭的替代，而且不再增加大气环境中二氧化碳。如果我们再扩大种植面积，用超级芦竹热解产生氢和甲烷，转换为甲醇、乙醇、氨、乙二醇、烯烃、芳烃等化工原料，部分替代石油和天然气，把生物碳用于修复土地，那我们的能源产业就可以是负碳的产业，是真正意义

上的能源革命。

跟在西方国家后面，我们步步受制，很难超越，没有出路。采用颠覆性技术，更换赛道超车，才能突破发达国家对我们的围堵，实现能源的低碳和自由，支持发展国民经济，实现民族复兴大业。

实现民族复兴大业

大规模开发利用超级芦竹，替代燃煤发电，发展绿色氢气、绿色天然气，是充分利用太阳能，消纳风能光伏等新能源，转换能源结构，减少碳排放，大幅提升生态系统碳汇增量，用植物能源替代化石能源的有效途径，是构建以新能源为主的新型电力系统的基础，是乡村振兴的新希望，既是能源生产革命，也带动能源消费革命，可以实现碳减排的换道超车，减少甚至摆脱对传统煤炭、石油、天然气等化石能源的依赖，同时也能加快“碳中和”目标的实现。

我国以规模开发利用超级芦竹为契机，用植物能源替代化石能源，进而发展氢能产业，还将颠覆中东、俄罗斯、甚至美国等石油天然气输出国的供应地位，改变世界地缘政治和地缘经济的格局，走出一条符合国情的生态优先、绿色低碳发展道路，从而助力我国经济的高速发展，实现民族复兴的大业。

实现碳达峰、碳中和，是一场广泛而深刻的经济社会变革，是一项复杂的工程和长期的任务，既急不得，也等不得，急不得讲的是要先立后破，等不得就是看准了马上行动，我们要真正理解碳达峰、碳中和的意义，选准走对碳达峰碳中和的路线，艰苦努力，坚持不懈，一定能实现碳中和的目标。在中国共产党的领导下，我们也一定能实现民族复兴大业。