

谢克昌院士：

中国能源安全和能源转型的立足点是煤炭清洁高效可持续开发利用

4 中国化工报 2022年8月8日

专题报道

中国化工报 责任天群

中国能源安全和能源转型的立足点：

煤炭清洁高效可持续开发利用

——访中国工程院院士、国家能源集团首席科学家、太原理工大学教授谢克昌

文/本报记者 王静

今年夏末的煤价冲高，再次引发了全社会对能源安全的关注。面对能源安全和能源转型，中国工程院院士、国家能源集团首席科学家、太原理工大学教授谢克昌在接受采访时表示，中国能源安全和能源转型的立足点是煤炭清洁高效可持续开发利用。谢克昌院士指出，煤炭是我国的主体能源，也是我国能源安全的基石。在能源转型过程中，煤炭仍将发挥不可替代的作用。通过技术创新，提高煤炭的清洁度和利用效率，是实现能源安全和能源转型的关键。

煤炭清洁高效可持续开发利用势在必行



谢克昌院士指出，煤炭是我国的主体能源，也是我国能源安全的基石。在能源转型过程中，煤炭仍将发挥不可替代的作用。通过技术创新，提高煤炭的清洁度和利用效率，是实现能源安全和能源转型的关键。他强调了煤炭清洁高效利用的重要性，并指出这是保障国家能源安全、实现“双碳”目标的重要途径。谢院士还提到，国家能源集团正在加大科研投入，推动煤炭清洁利用技术的研发和应用，为煤炭行业的转型升级提供技术支撑。

着力提升煤炭清洁高效利用水平

谢克昌院士表示，提升煤炭清洁高效利用水平是实现能源安全和能源转型的关键。他提出了“四个着力”：着力提升煤炭的清洁度，通过洗选、配煤等技术减少污染物排放；着力提升煤炭的利用效率，推广先进燃煤发电技术和工业炉窑节能技术；着力提升煤炭的转化效率，发展煤制气、煤制油等现代煤化工产业；着力提升煤炭的储运效率，发展煤炭物流和储配基地。谢院士还强调，要加强政策引导和标准体系建设，推动煤炭行业高质量发展。



我国煤炭清洁高效利用体系基本形成

谢克昌院士表示，我国煤炭清洁高效利用体系已基本形成。这主要体现在以下几个方面：一是政策法规体系不断完善，为煤炭清洁利用提供了有力保障；二是技术标准体系日益健全，推动了煤炭清洁利用技术的规范化和标准化；三是技术创新体系逐步建立，一批具有自主知识产权的煤炭清洁利用技术得到突破和应用；四是产业支撑体系日益壮大，煤炭清洁利用产业得到了快速发展。谢院士认为，未来将继续加大科研投入，进一步提升煤炭清洁利用水平。

走好具有中国特色的煤炭清洁高效利用之路

谢克昌院士指出，走好具有中国特色的煤炭清洁高效利用之路，必须坚持“四个原则”：一是坚持创新驱动，加大科研投入，突破关键技术；二是坚持绿色低碳，推动煤炭清洁利用与生态环境保护相结合；三是坚持因地制宜，根据不同地区的资源禀赋和能源需求，制定差异化发展策略；四是坚持开放合作，加强与国际先进国家的交流与合作，提升我国煤炭清洁利用的国际竞争力。谢院士还提到，要充分发挥企业的主体作用，推动煤炭清洁利用产业高质量发展。



今年发生的俄乌冲突，事实上导致了全球化石能源的回归，使全球碳中和发展受挫。针对此，中国工程院院士、国家能源集团首席科学家、太原理工大学教授谢克昌近日表示，我国作为以煤为主体能源的负责任大国，一定要立足于基本国情和发展阶段，审慎研判国际形势，在有效保障能源安全供应的前提下，结合实现碳达峰、碳中和的目标任务，稳妥进行能源转型。煤炭要革命，但绝不是革煤炭的命，是要在煤炭全产业链上实现绿色开发、清洁高效利用。实现了清洁高效利用的煤炭就是清洁能源。从这个意义上讲，中国能源安全和能源转型的立足点就是煤炭清洁高效可持续开发利用。



图为谢克昌院士在第三届中国能源·化工 30 人论坛上作报告。

煤炭清洁高效可持续开发利用势在必行

谢克昌表示，受国际形势、地缘政治、基本国情、发展阶段、主体能源、安全可靠、清洁高效、低碳发展的影响和制约，我国煤炭清洁高效可持续开发利用势在必行。

地缘政治格局动荡导致了能源转型步调放缓。谢克昌表示，俄乌冲突以来，全球地缘政治格局动荡加剧，能源转型整体步调放缓。《北约 2022 战略概念》严重冲击全球安全，对“最大且直接的威胁”的俄罗斯全方位制裁，导致能源市场发生巨大变化，甚至产生“灾难性的后果”。美国《清洁空气法》被美国最高法院

裁定“并未授权美国环境保护署监管现有发电站的温室气体排放”，从而使美国减排进程受挫，动摇了其能源转型的“领导力”和其盟友的信心。欧盟多国(德、意、奥、荷、希腊等)和英国重启煤电应对能源危机，“肮脏的煤炭”东山再起，碳中和遭遇冷落、推迟，甚至“熄火”。德国总理朔尔茨7月9日对能源危机的影响再度发出警告，称“能源短缺问题或将影响德国数年之久”，碳中和政策受挫。欧盟可再生能源法案通过，更多是政治博弈和对俄制裁的需要，难以解决当前的危机。企业方面，日本制铁将增加煤矿投资，而澳大利亚矿业巨头必和必拓放弃退出动力煤业务。

谢克昌认为，面对全球“百年来未有之大变局”，面对世界地缘政治的巨大变化，中国不可能置身于事外。党中央、国务院多次强调能源安全问题，强调“能源的饭碗必须端在自己手里”“把推动煤炭清洁高效开发利用作为能源转型发展的立足点和首要任务”“要立足我国基本国情和发展阶段，多元发展能源供给，提高能源安全保障水平”。2021年，中央经济工作会议指出，传统能源逐步退出要建立在新能源安全可靠的替代基础上，要立足以煤为主的基本国情，抓好煤炭清洁高效利用，增加新能源消纳能力，推动煤炭和新能源优化组合。特别是2022年3月25日的《中共中央国务院关于加快建设全国统一大市场的意见》指出，要在有效保障能源安全供应的前提下，结合实现碳达峰、碳中和目标任务，有序推进全国能源市场建设，能源安全成为前置条件，主次不能颠倒。传统能源逐步退出要建立在新能源安全可靠的替代基础上，要立足以煤为主的基本国情，抓好煤炭清洁高效利用，增加新能源消纳能力，推动煤炭和新能源优化组合。这在新的国际形势下尤为重要。

煤炭清洁高效利用也是由国情决定的。谢克昌认为，在中国，化石能源仍是主体，而煤炭占比最高。对全球而言，化石能源依然是最主要的能源来源。2021 年全球能源消费结构中，化石能源占 82%，而中国的化石能源占比为 84%，不同的是全球天然气、石油、煤炭的使用比例大约呈 1 : 1 : 1，而中国的结构大体为 1 : 2 : 7，煤炭是绝对主力。权威机构预测，即使在未来更远的一段时间，化石能源也依然是中国能源主体。此外，即使在全球已经实现碳达峰的国家中，煤炭消费仍有“3 个 20%”的压舱石基本功能：即煤炭在能源消费结构的占比长期在 20% 以上，典型碳达峰路径减煤增气总幅度在 20% 以上，已经碳达峰的电力大国的煤电占比普遍超过 20%，可见煤炭是不可或缺的能源。另外，基于泛能源大数据理念的信息熵加权计算，煤炭在清洁性、低碳性、安全性、高效性、经济性 5 个评价维度中综合性能最佳。这就是为什么我国不能盲目“去煤化”的一种量化评估。但是，煤炭必须在清洁性、低碳性维度上与其他能源协同共济，互补优化以对标实现“双碳”目标。

谢克昌认为，中国富煤只是相对的，对于煤的开发利用必须可持续。他表示，必须清醒认识到，中国富煤只是相对油气而言，人均煤炭保有量不及全球的平均水平，需要全链条实现中国煤炭清洁高效可持续开发利用。2011 年，由谢克昌院士负责的中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究，凝练了数十位院士和上百位专家的智慧，形成中国煤炭开发利用的科学开发、全面提质、先进发电、转型升级、节能提效等系列战略举措，影响了中国煤炭清洁高效利用战略决策以及能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”的政策转变。谢克昌指出，煤炭具有燃料和原料二重属性，化工转化占 22.5%，做燃料使用占 70%。在我国，煤炭作为原料还影响着我国的粮食生产，2019 年数据测算表明：煤炭作为原料占氮肥

的 57.22%、钾肥的 40.06%，煤耗总量约为 1.3 亿吨。煤炭无论作为能源燃料还是作为化工原料，都应在“清洁低碳，安全高效”的要求下发展。

我国煤炭清洁高效利用体系基本形成

谢克昌认为，现阶段我国全球最大的煤炭清洁高效利用体系已经基本形成，燃煤发电规模和技术水平世界领先，现代煤化工产业体系基本形成，相当部分技术国际先进或国际领先。

目前，我国燃煤发电规模全球最大，已形成清洁煤电供应体系。2021 年中国燃煤发电装机容量 11.1 亿千瓦，占比 46.7%；燃煤发电量 5.03 万亿千瓦时，占比 60%。目前，我国超临界机组技术水平、装机容量和机组数量均居世界首位，燃煤发电超低排放机组占比超过 90%，2021 年平均供电煤耗 302.5 克标煤/千瓦时，进入世界领先行列。

我国煤化工产业同样体系健全，现代煤化工创新体系得到发展。谢克昌表示，当今的煤化工已经是传统煤化工和现代煤化工共存的局面。现代煤化工的主要技术路线包括煤炭通过气化、液化、热解三大转化途径及下游工艺生产燃料与化学品的过程。其中，气化途径是以煤气化技术为起点，合成气为中间产物而合成甲醇、乙醇、费托油(石脑油、汽柴油、液化石油气等)、天然气、乙二醇的过程，而以甲醇为中间原料还可进一步转化得到烯烃、汽油、芳烃。液化途径指直接液化过程，其主产品是柴油、航油等。热解途径是以煤中低温干馏为先导的煤焦油深加工过程。我国现代煤化工规模、技术和装备水平名列世界前茅，先进、领先、首

创不断出现,譬如煤制燃料乙醇作为煤化工清洁利用的新技术路线,属国家首创,正在向规模化的方向发展。

近期,我国煤化工发展规模逐渐扩大,示范生产基地基本形成。整体而言,集中于鄂尔多斯、准东、哈密、晋北、榆林的现代煤化工示范产业基地基本形成,煤制油、煤制烯烃、煤制气成为缓解石油供应安全的最重要的产业。如煤制油,截至2020年年底已经建成9个项目,包括3个16万吨级示范项目、5个百万吨级产业化示范项目、1个煤油共炼项目,实际建成运行生产能力903万吨/年;在建项目2个,设计能力合计300万吨/年。

如今,煤制油气接续替代、缓解外依成效明显。谢克昌认为,事实上,现代煤化工在2020年已经实现了降低石油对外依存度1.5个百分点、天然气对外依存度1.4个百分点的成效。分析表明,未来如果以低碳环保为前提,煤替油产生的替代成效潜力在1.5~2.5个百分点,如果以能源供应安全为前提,煤替油产生的替代成效潜力在4.5~5.9个百分点。煤替气的替代成效也类似。现代煤化工预计到2030年、2040年、2050年,分别可达到降低石油对外依存度2.5%~4.6%、1.6%~5.9%、1.7%~5.9%,降低天然气对外依存度5.6%~8.7%、6.1%~9.2%、8.1%~10.1%的成效。

谢克昌介绍,国家能源集团作为全球最大的煤炭企业,充分发挥“旗舰”引领作用,坚持“三化”指导思想发展现代煤化工。目前,国家能源集团生产运营煤制油化工项目28个,运营和在建煤制油产能526万吨/年,煤制烯烃产能393万吨/年,在煤化工主要技术领域拥有自主技术和多项世界第一的工业示范和生产

线。作为现代煤化工的旗舰企业，国家能源集团将引领煤化工产业不断向“高端化、多元化、低碳化”方向发展。

谢克昌院士作题为《中国能源安全和能源转型的立足点：煤炭清洁高效可持续开发利用》的报告。

着力提升煤炭清洁高效利用水平

谢克昌建议，下一步，应该继续对先进燃煤技术攻关，并加快煤化工核心科技创新。他表示，可以从以下八个方面入手。

其一是先进燃煤攻关示范、灵活高效清洁低碳。这里又分为 4 个先进技术。一是先进燃煤发电技术，国家能源局、科技部 2021 年 11 月发布的《“十四五”能源领域科技创新规划》提到 6 项集中攻关、7 项示范试验。二是高效灵活燃煤发电技术，包括新型燃煤机组工艺设计关键技术、核心部件研发与制造关键技术、新型机组灵活智能运行控制技术。三是清洁低碳燃煤发电关键技术与装备集成攻关，包括灵活发电全工况下污染物一体化脱除、超临界二氧化碳(CO₂)燃煤发电、可再生能源—燃煤集成互补发电。四是整体煤气化联合循环发电系统(IGCC)和整体煤气化燃料电池发电技术(IGFC)等新型发电系统。

其二是加强现代煤化工科技创新、促进煤化工产业高质量发展。谢克昌建议，要通过高端化、多元化、低碳化、联产化、智慧化以及科学评价发展，加快煤化工核心科技创新，促进煤化工产业高质量发展。

其三是高端化发展。高端化包括技术高端化和产品高端化，目标是减少排放。技术高端化包含新型煤气化、新一代甲醇制烯烃、煤加氢液化、低温费托合成技术、自主甲烷化、低阶煤热解、煤焦油分质转化、合成气制乙二醇、甲醇制芳烃、高含盐废水处理、高浓度 CO₂ 捕集利用等技术。技术高端化要求淘汰落后技术、采用先进技术提高生产效率和资源利用效率，降低单位产品资源消耗、综合能耗和排放。产品高端化方面，煤制油要发展超净汽油、柴油、军用特种油、精细化学品、润滑油及溶剂油；煤制烯烃发展特殊用途功能材料和衍生产品；分质转化发展固体清洁燃料和优质调和油。产品高端化鼓励开展煤炭深加工，生产特色产品，提高产品性能和附加值。二者共同作用，达到降低单位 GDP 各种消耗和排放的目的。

其四是多元化发展。单一原料供应的煤化工传统增长模式容易受到原料供给的制约。多元化发展，就是从源头上利用煤、天然气、渣油等生产不同的产品。原料多元化可以打破传统煤化工、气化工和石油化工行业壁垒，形成适合区域性资源禀赋的新型集群产业。以延长石油煤油气综合利用项目为例，该项目以榆林地区的煤、油田气、渣油为原料，通过多种先进技术的组合与中间产物的优化配置，有效弥补煤制甲醇碳多氢少和天然气制甲醇氢多碳少的不足，使生产甲醇的能耗与污染物排放大幅度降低。

其五是低碳化发展。为更好实现低碳发展目标，应积极探索碳捕集、利用与封存 (CCS/CCUS) 技术，超前部署高效 CCS 以及 CO₂ 驱油 (CO₂-EOR)、CO₂ 制甲醇、CO₂ 制烯烃等 CCUS 技术的前瞻性研发，拓展 CO₂ 资源化利用途径。多能互补，加强现代煤化工与可再生能源、清洁能源的互补融合，建设低碳煤基综

合能源产业基地。主动融入全国碳市场,通过碳交易机制提升企业减排的积极性、降低减排成本,通过碳管理机制完善现代煤化工碳排放核算标准、实现碳排放精细化管理。立足国情,维护正当合理的发展权。谢克昌特别强调,要明确现代煤化工减碳的有所为和有所不为,一方面要充分利用现代煤化工过程中副产高浓度CO₂的优势积极探索CCS和CCUS技术;另一方面又不能“投鼠忌器”无视现代煤化工高碳工业的工艺属性,阻抑现代煤化工的科学发展。

其六是联产化发展。按照循环经济的理念,大力推动煤化工与电力、石油化工、化纤、盐化工、冶金建材产业的融合发展,研发多联产工艺技术。例如,相较传统技术,分质多联产技术具有资源利用率高、CO₂排放强度低等优势,对于煤化工的经济性和抗风险能力具有较大提升。

其七是智慧化发展。煤化工要与现代信息技术紧密融合,开展煤化工工厂的数字化,构建工厂的运行大数据体系,应用数字孪生、人工智能等新科技挖掘建立能源调度模型、节能模型研发智慧能源技术。山东省沂水县生物沼气工厂开发的智慧工厂系统的经验表明,通过对企业工艺智慧化的管理与运营,节能效果显著。

其八是科学评价发展。科学的评价可以为技术的发展指明正确的方向,而影响技术的发展是多方面的。基于泛能源大数据理念构建的综合模型能够从全维度、全时空变化的视角对技术的发展进行评价,可为技术的发展布局提供有价值参考。例如,应用于煤制乙醇和生物质乙醇的研究,发现煤基燃料乙醇的技术经济性最好,但是碳排放相对较高。当下,煤基燃料乙醇可能会成为处理我国安全与减排关系的一种选项。长远来看,发展二代生物燃料乙醇将更加符合我国“双碳”战略。这就为解决技术短期和中长期提供了参考。



潞安化工集团有限公司 180 万吨/年高硫煤清洁利用油化电热一体化示范项目生产现场一隅。

走好具有中国特色的煤炭清洁高效利用之路

谢克昌表示，煤炭要革命，但绝不是革煤炭的命，是要在全产业链上实现绿色开发、清洁高效利用，实现了清洁高效利用的煤炭就是清洁能源。不要把实现了清洁高效的煤炭，还排除在清洁能源之外，自己给自己套枷锁。

尽管煤炭产业是“传统行业”，但“传统产业”只代表产业出现的时期较早，而不代表煤炭产业就是“夕阳行业”，更不应该出现“十三五”期间在金融支持、科研支持、产能批复等各方面的“一刀切”“去煤化”的现象，造成去年的供电短缺，应该从根本上找出问题的根源。

此外，还要坚持节能优先，做好资源和产能储备，在释放优质产能的同时，要科学划定煤炭产能“红线”。加强非化石能源安全可靠替代煤炭等传统能源关键核心技术攻关，多元发展能源供给，切实提高能源安全保障水平。

最为重要的是，要继续做好新时期煤炭清洁高效利用这篇大文章，着力围绕先进高效燃煤发电、煤炭清洁高效转化(煤基新材料、煤基特种油品)、CO₂ 减排和利用、煤炭资源综合利用等领域开展协同攻关，深度开发煤炭清洁高效利用技术，不断提升煤炭清洁高效利用水平。

我国作为一个以煤为主体能源的负责任大国，一定要立足于基本国情和发展阶段，审慎研判国际形势，在有效保障能源安全供应的前提下，结合实现碳达峰碳中和的目标任务，稳妥进行能源转型。任何不切实际的能源转型都可能给经济社会造成不利影响。