

现代煤化工产业节能降碳与绿色发展路径研究

时希杰（国家节能中心，北京 100045）

摘要：随着中国现代煤化工产业规模持续扩大，政策导向作用日益凸显，产业布局结构逐步优化，煤炭的清洁高效利用水平也在不断提升。然而，在“双碳”目标背景下，该产业面临着如何在降碳、节能、扩绿、增长等方面实现平衡，从而实现高质量发展的重大挑战。为应对这一挑战，现代煤化工企业需从源头、工艺及末端三“箭”齐发，坚持清洁利用原则，有效改善原料、燃料结构，持续探索废弃物的处置与利用途径，实现资源的最大化利用。还需开辟碳中和扩绿路径，通过增加林草碳汇、发展富碳农业以及实施生物质资源化利用等，促进产业的绿色可持续发展。

关键词：煤化工；节能降碳；扩绿；低碳；绿色发展

1 现代煤化工产业发展形势

在当代，煤炭化工行业以煤作为核心生产原料，成功提炼出包括清洁燃油、基础化工原料在内的多样化产品。自“十三五”计划启动以来，国家在煤制油、煤制烯烃、煤制天然气、煤制乙二醇以及大型煤制甲醇等领域，已经建立了多座现代化的示范性化工工程项目，并形成可观的产业规模。2020年，我国在煤制油领域（包括直接液化、间接液化、煤油共炼）产能已达到每年8230万吨，煤制天然气的产能达到每年510.5亿立方米，煤制烯烃（包括通过甲醇制烯烃）的产能达到每年1672万吨，而煤制乙二醇的产能达到每年597万吨^[1]。进入“十四五”，我国将煤炭化工产业的发展方向调整为合理控制规模，致力于产业的示范升级以及可持续发展模式的探索，这包括推动产业的大型化、园区化、基地化发展。我国现代煤化工技术水平日益提高，通过不断创新和优化技术，我国煤炭化工行业正迎来新的发展机遇；也面对绿色环保、提高资源利用效率等挑战，确保产业的长期健康发展。

1.1 政策驱动产业布局

在现代煤化工产业的快速发展背景下，政策引导对行业的成长变得愈发关键。近年来，国家出台了一系列政策文件，如《现代煤化工产业创新发展布局方案》《产业结构调整指导目录》《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》等文件涵盖了产业结构调整、能源利用结构优化、节能减排等多个方面，旨在推动并指导该行业朝着更优化的方向发展^[2]。这些政策的发布充分体现了国家对煤化工产业高质量发展的重视和对环保、节能减排的坚定承诺。通过这些政策，国家为煤化工产业的合理布局提供了

明确的方向，鼓励企业通过技术创新和结构调整来实现更加可持续发展。

1.2 技术引领煤炭清洁高效利用

在我国现代煤炭化工领域，经过数十年的技术积累与沉淀，我国已经掌握了世界领先的技术装备水平，实现了整体装备的国产化率超过95%。2020年，我国新型煤化工产业已经具备了超过1亿吨标准煤的煤炭转化能力，实际转化量达到了8200万吨标准煤，其中，用于“原料化”利用的煤炭转化能力和转化量占比约为80%。

从综合技术水平的发展现状来看，多喷嘴水煤浆气化、航天粉煤加压气化等先进的煤气化技术在大型化应用方面已经相当成熟。在国产化空分设备方面，我国的制氧能力已经位居世界第一，部分先进企业已经能够与国外空分企业竞争60万立方米/小时的制氧能力等级以上的市场空间。在低温费托合成技术方面，我国自主低温浆态床费托合成技术已经完成了百万吨级工业示范。在煤油共炼技术方面，我们已经形成了新的技术储备，开发了以重劣质油与中低阶煤为原料生产清洁油品、特种燃料或高端石化产品的煤油共炼技术（YCCO），并建成产能45万吨/年的示范装置；在甲烷化成套技术研究方面，已经取得了阶段成果，并形成13亿立方米/年工业规模的甲烷化装置工艺包；在煤制烯烃技术方面，我们已经实现了商业化，通过开发DMTO-III技术催化剂和成套工艺，提升了能源利用效率；在煤制乙二醇及联产化学品技术方面，随着技术水平不断提升，已经有6项合成气制乙二醇技术实现工业化应用。

1.3 煤化工产业高质量发展面临的挑战

在我国现代煤化工产业的演进历程中，经历

了产品结构、产业规模和技术水平的显著提升。”“十三五”期间，我国煤制油、煤制天然气、煤制烯烃和煤制乙二醇产能的年均增长率分别达到了20.9%、10.5%、15.1%和21.0%，显示出稳健的发展态势。随着“双碳”目标的提出和高质量发展的深入推进，现代煤化工产业面临着新的挑战。

首先，生态环境问题依然严峻。煤化工项目的规模宏大，生产过程中产生的污染物数量庞大，妥善处理和利用这些污染物挑战很大。据统计，我国西部地区的煤化工废渣堆存量已经超过了1亿吨，每年新增的废渣量达到1500~2000万吨^[3]。现代煤化工产业示范区所在的区域空间有限，环境容量不足，生态环保和节能降耗的压力巨大，任务繁重。

其次，碳减排任务艰巨。由于煤炭的特性以及煤化工生产中产生的“氢多碳少”的化工产品特点，该行业的碳排放强度较高。在碳达峰碳中和的大背景下，寻求高效减排路径成为行业发展的紧迫任务。

最后，产品高端化不足的问题仍然突出。尽管我国现代煤化工产业的规模、关键技术、核心装备都已经相当成熟，大型煤气化技术、高温费托合成技术、煤制乙二醇等技术都处于国际领先水平，但低端产品过剩、高端产品不足的趋势愈发明显，下游高端化学品市场的需求日益旺盛，这加剧了现代煤化工产业的市场竞争。因此，我们必须加快对高端精细化工产品的技术开发，实现我国现代煤化工从大到强的转变。

2 现代煤化工企业绿色低碳发展路径

2.1 立足自身，探索“多端”路径

我国现代煤化工企业面临的碳减排压力巨大，在碳达峰、碳中和背景下，煤化工行业加速迎来以降碳为重点方向的发展趋势变革，现代煤化工企业面临着前所未有的碳减排挑战。在这个历史性的转折点，煤化工行业正加速推进以降低碳排放为核心的供给侧结构性改革。

2.1.1 源头调整，结构降碳

首先，可以调整原料的C、H比。例如，我们可以采用煤和天然气的联合制气技术，降低粗煤气中CO的变换深度，甚至取消CO变换工序。这些方法可以降低单位产品的能耗，还可以减少CO₂的排放。

其次，可以发展绿氢作为补充原料。绿氢的大规模应用将有效提升现代煤化工行业源头降碳的效果。随着可再生能源的发展和普及，绿氢的成本将会逐步降低。使用绿氢来补充合成气所需的氢气，可以大大

减少CO₂排放。第三，可以扩大绿电的使用。化石燃料燃烧排放的CO₂约占现代煤化工产业排碳量的30%。提高电气化水平是未来工业发展的必然趋势。由于我国煤化工产业的地区布局特点，绿电的发展空间很大。未来，使用绿电代替蒸汽驱动，将进一步降低行业的碳排放水平。

最后，我们可以开发含碳废弃物的再利用技术。煤化工过程中产生的有机污泥、油渣、煤泥等含碳废弃物，可以掺入原料煤进行气化。这样可以减少废弃物的排放，还可以节省原料。按照我国煤化工原料年用量2亿吨进行测算，大约会产生10%的含碳废弃物。如果其中20%的废弃物代替原料煤进行气化，并假设在10%的煤化工企业中推广应用，预计可以减少CO₂排放80万吨，降碳潜力很大。

2.1.2 过程控制，节能降碳

在现代煤化工产业中，超过60%的碳排放源自于工艺过程中的排放。因此，提升工艺过程中的节能效果，无疑是行业实现低碳转型的重要路径。根据煤化工企业气化技术改造升级空间，推广水煤浆气流床气化技术和干粉煤气流床气化技术，降低工序能耗，从而达到节能降碳效果。现代煤化工的发展趋势是装置规模的大型化，企业要推进大型空分设备的使用，提高能效利用率的同时，采用高效合成工艺，开发新型高效催化剂。

另外，资源及能量的回收与利用，也是煤化工产业工艺过程实现节能降碳的重要途径。要注重开发余热回收利用技术和尾气回收利用技术，开发低阶煤热解多联产技术，通过气体分离等技术回收尾气，用于补充锅炉燃料或者合成原料，充分挖掘尾气的经济价值。在现代煤化工生产中，生产设备复杂，配套的公用工程系统设备较多，同样具备较大的降碳潜力。通过合理设计保温方式，优化换热流程，减少余热产量，对管道、电气、采暖、通风、空调、照明设备等进行节能改造，也是降低碳排放的有效途径。

2.1.3 末端转化，持续降碳

在现代煤化工领域，排放的CO₂呈现出高浓度和集中排放的特性，这为CO₂的捕集和利用提供了有利条件。末端降碳的有效途径包括CO₂驱油技术和二氧化碳加氢制化学品。尽管CO₂驱油技术在我国起步较晚，但随着碳捕集装置规模的持续扩大，CO₂驱油封存的经济效益日益显现。通过将CO₂注入油田，可以提高原油的采收率，还可以实现CO₂的有效封存，

从而降低排放。

另外，二氧化碳加氢合成技术为生产可降解塑料等高端化学品提供了新的可能性。随着技术的不断进步和成本的降低，预计这一产业将迎来新的春天。通过将 CO₂ 转化为高附加值的化学品，可以减少碳排放，还可以推动相关产业的发展。

2.2 注重环保，探索“绿色”路径

在现代煤化工产业的发展过程中，煤炭的清洁高效利用是必然趋势。为了推动煤化工产业的清洁化，我们需要持续探索废气、废水和固体废物的处理与再利用途径。

首先，在废气处理方面，必须对粉尘和气体排放点进行严格排查，并推广应用高效除尘技术，如惯性除尘、湿式除尘和过滤式除尘。对于工艺废气，应根据具体情况选择适宜的低温甲醇洗技术或栲胶脱硫工艺。根据“十四五”节能减排综合工作方案，行业需完善废气排放处理制度，确保污染物整治的有效性，并根据排放数据升级改造废气处理技术。

其次，在废水处理方面，煤化工行业是大量消耗水资源的代表，废水中含有复杂的组分，治理难度较大。因此，需要加强对预处理技术的开发，并采用臭氧氧化技术、非均相催化臭氧氧化技术、超临界水氧化技术等深度处理技术，以实现废水的循环利用。

最后，在固体废物处理方面，煤化工生产过程中产生的粗渣、细渣以及结晶盐等废物，需要通过减少源头排放和强化生产源头污染控制来处理。也要根据废渣的特性和资源化利用潜力，开发新的利用途径。

2.3 兼顾生态，开辟“扩绿”路径

在现代煤化工产业追求碳中和的道路上，生态系统碳汇扮演着至关重要的角色。探索和实施增加林草碳汇、发展富碳农业以及实施生物质资源化利用等措施，是实现这一目标的关键路径。林草碳汇的增加是煤化工产业碳中和策略的重要组成部分。西部荒滩化地区，由于其自然条件适宜，成为发展林草碳汇的理想场所。这个策略成本效益高，还能为当地带来额外的碳汇收益，并促进社会和经济的双重发展。

同时，富碳农业的发展为煤化工产业的减排压力提供了经济转化的可能。内蒙古、山西、河北等地已经开展了将排放的 CO₂ 在农业中资源化利用的实践。富碳农业模式实现了生产与生活的互惠共生，还将减排转化为经济增长点，也提高了农业生产的标准。最后，生物质资源化利用为煤化工产业提供了新的能源

解决方案。生物质能与化石能源在元素组成上相似，可以用于发电、热解或气化成煤化工产品，生物质能的利用潜力将进一步被挖掘，加速生物质能产业的发展。

2.4 多元化发展，拓宽“增长”路径

在推动绿色能源技术整合方面，我国正致力于促进绿色电力与绿色氢气的结合。随着以太阳光和风电为代表的的新能源快速发展，以及水电解制氢技术的日益完善，将绿色电力和绿色氢气与传统化工行业如煤炭化工和石油化工相结合，将成为未来能源化工绿色化的重要着力点。

特别是对于煤炭这一高碳低氢的原料，采用绿色氢气和绿色电力，能够显著降低煤炭化工行业的 CO₂ 排放量，减排幅度可达 60% 以上。考虑到电费成本的不断下降和制氢技术的进步，绿色氢气和绿色电力已经初步具备了产业化条件。与现代化工行业的有效整合，这是实现高质量增长的策略，也是实现国家“双碳”目标的关键动力，以及推动技术创新和产业模式创新，促进生产结构转型的有效途径。

3 结语

我国提出“双碳”目标，既是顺应国际潮流，也体现了我国在碳减排方面的坚定决心。在这一目标指引下，现代煤化工产业作为能源消耗和碳排放的重点行业，面临着向绿色低碳转型的严峻挑战。为实现现代煤化工产业的可持续发展，必须将节能、降碳、扩绿、增长四个方面有机结合起来，形成协同发展模式。这种模式既要在技术层面上创新，还要在管理和政策层面上提供支持，确保其不同地区和不同企业之间可复制、可推广。通过这种方式，现代煤化工产业将迎来发展与降碳的双赢局面，为我国实现“双碳”目标作出积极贡献。

参考文献：

- [1] 傅向升. “五化”激发降碳动能 [J]. 中国石油石化, 2023, (Z1): 40-42.
- [2] 田原宇, 谢克昌, 乔英云等. 碳中和约束下的煤化工产业展望 [J]. 中外能源, 2022, 27(05): 17-23.
- [3] 陈丹江. 双控政策调整, 煤化工担子更重 [J]. 石油和化工产业观察, 2022, (Z1): 98-99.

作者简介：

时希杰 (1978-), 男, 山东蓬莱人, 汉族, 职称: 副研究员, 学历: 博士, 研究方向: 节能降碳与绿色发展。