

“双碳”目标下天然气在工业中的发展趋势分析

高福特（国家管网集团工程技术创新有限公司，天津 300457）

摘要：在“双碳”目标的背景下，天然气作为低碳、高效、清洁的能源形式，在工业领域减少碳排放中发挥着重要作用。本文深入分析“双碳”目标下天然气在工业中的发展趋势，通过 LEAP 模型对我国工业领域天然气需求进行分情景分析及预测，预测表明随着工业能源消费结构的调整，工业天然气消费需求将在 2025 至 2035 年处于增长阶段，随后逐渐达到峰值并保持一段平台期。三种不同情景预测 2040 年后工业领域天然气需求量呈现不同的下降趋势，然而天然气仍将担当推动工业能源绿色低碳转型的重要力量。远期天然气应与可再生能源融合发展，持续推动工业能源结构向绿色化、低碳化方向转型，为工业部门实现长期低碳发展目标提供强有力的支撑。

关键词：需求预测；LEAP 模型；天然气消费；双碳

1 引言

近年来，全球气候变暖因人类活动排放的温室气体，尤其是二氧化碳而加剧。优化能源结构、减少排放成为应对气候变化的首要任务。为应对气候变化及贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求，我国实施“双碳”战略，促使我国加快步伐向绿色低碳的能源领域转型。工业部门作为二氧化碳排放的主要贡献者，同样承载着巨大的减排潜力。推动工业部门向低碳发展转型，不仅有助于工业部门自身提高资源利用效率、减少环境污染，更将为全社会的低碳转型奠定坚实的基础，提供强有力的支撑。天然气作为一种清洁能源，发展基础雄厚、发展潜力巨大，在供应端和消费端的各领域具有独特的优势；既可在平抑新能源大量接入的工业领域减排发挥重要作用，也可作为储能，高渗透绿氢，CCUS 等颠覆性技术突破和能源体系平稳转换赢得时间^[1]，是能源消费结构转型和应对气候变化过程中的关键力量。

2 天然气在工业领域应用的现状

近年来，我国工业能耗总量占能源总消耗量的比重一直维持在较高水平，尤其是钢铁、化工、建材等传统重工业。2022 年我国工业终端能源消费总量达 26 亿吨标煤，工业能源消费仍以化石能源为主，其中：煤炭占比 41.0%，油品占比 15.8%，天然气占比 8.9%，电力及其他能源占比 34.3%^[2]，煤炭在工业能源消费中的占比仍然较高。2012–2022 年工业终端煤炭消费总量由 10 亿吨下降至 6 亿吨，主要集中在建材、钢铁、化工、有色金属、煤炭开采和加工业^[2]。目前天然气消费结构呈现出以城市燃气和工业燃料为主的天然气利用结构，2022 年两者占比分别为 40% 和 36%^[3]。自

2013 年在“煤改气”政策推动下，天然气在工业领域应用保持快速发展，2013–2022 年工业燃料天然气消费量由 592 亿方增至 1531 亿方，年均增长 104 亿方，年均增速 11%，尤其是 2017 年以来工业燃料在天然气消费结构稳步增长。

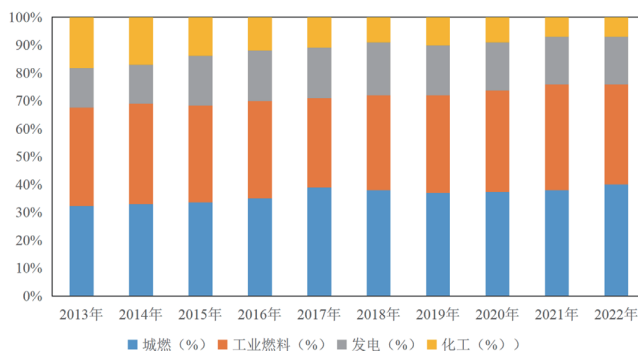


图 1 2013-2022 年中国天然气消费四大结构占比

不同行业在天然气替代方面存在显著差异，食品加工、医药等行业以及汽车制造业、电气机械和器材制造业等高端制造业对“气代煤”和“气代油”的天然气价格承受能力较高，且在技术和经济方面的改造难度相对较小，政策壁垒也较低，但这些行业的燃煤、燃油消费已达到较低水平，进一步削减的空间十分有限。石油和天然气开采业近是 10 年能源消费总量基本持平，煤炭消费量下降明显，2022 年煤炭在能源消费占比仅为 1.3%，未来煤炭替代潜力较小。黑色金属冶炼和压延加工业，能源消费以煤炭和高炉煤气等副产燃料气为主，天然气主要用于燃料，少部分用于做还原剂，2022 年天然气在黑色金属冶炼和压延加工业能源消费占比仅为 2.5%，天然气替仍有很大的发展空间。有色金属冶炼和压延加工业部分行业能源消

费以电力为主,在能源消费占比为68%,煤炭消费占比10.9%,2022年天然气在有色金属冶炼和压延加工业仅为6.8%,天然气替代煤炭方面仍有一定的发展空间。石油、煤炭及其他燃料加工业近10年煤炭消费量大幅下降,煤炭消费占比8.2%,未来煤炭替代潜力较小^[4]。金属制品业近几年煤炭消费量呈现快速下降,天然气消费量大幅上升。随着“双碳”政策的持续推进和“煤改气”政策的深入实施,工业领域作为天然气应用的主要领域之一,有望在未来实现快速发展,几大高能耗行业仍是天然气作为工业燃料的主要发展方向。

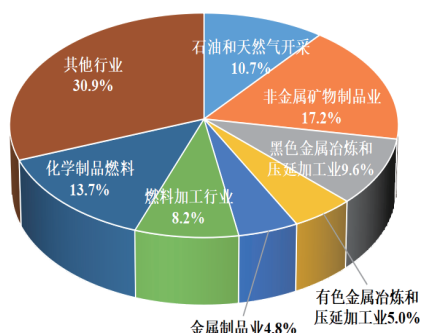


图2 2022年工业各行业天然气消费占比

3 “双碳”目标下天然气在工业领域的发展空间

3.1 研究现状

近年来,随着学者们对经济、能源和环境之间相互关系的深入研究,如郑小强、钱璐璐^[5]采用LEAP模型对中国天然气消费分三种情景进行分析,并预测未来发展趋势。周淑慧、王军、梁严^[6]分析在碳中和背景下中国“十四五”天然气行业发展,采用LEAP模型对碳中和背景下中国天然气消费进行预测分析,并给出“十四五”天然气产供储销体系建设建议。贾爱林、程刚、陈玮岩等^[7]采用BP神经网络-LEAP组合模型对“双碳”背景下中国天然气消费量预测分析,并用产量构成法对2021—2060年中国天然气产量进行预测,给出构建“非化石能源+天然气+电力+氢能”新型能源体系、扩大天然气终端消费规模和推动天然气持续增储上产等结论。

3.2 模型框架

本文采用LEAP模型对工业领域天然气需求进行模拟分析,LEAP模型(Low emission analysis platform)采用部门分析法建立自下而上的能源-环境核算模型,该模型应用范围非常广泛,拥有可提供能源系统消费和污染气体排放分析的强大数据库;作为预测工具能够对中长期能源的供应与需求做出准确推

测,模型为用户提供多个分析模块,包括关键假设、需求分析模块、转换模块、供应模块以及污染气体排放分析等。

基于我国工业不同行业、部门天然气的消费特点,以及自下而上天然气利用方向,构建LEAP模型框架。本文以2021年为基准年,数据来源《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、其他权威研究报告等。考虑到数据的可获得性和完整性,在《中国统计年鉴》所分行业的基础上将工业燃料天然气需求分为采矿业和制造业两大类,其中采矿业中的石油和天然气开采行业天然气消费量较大,对其进行单独分析,其他行业天然气消费较少,合并简化为其他行业;将制造业向下分为高能耗行业和其他行业,其中高能耗行业包括黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、燃料加工行业、化工燃料,其他行业主要包括金属制品行业、其他行业。

3.3 情景设定

情景分析是天然气中长期预测一种重要的方法论,通过对未来可能影响天然气需求、供应和使用的多种因素的考虑,有助于理解和预测不同发展情景下天然气需求表现。

3.3.1 基础情景

基本完成国家的政策目标,目前政策到2030年二氧化碳排放达峰,单位GDP二氧化碳排放比2005年下降60%—65%。化石能源按照中等程度替代,非化石能源稳步发展,天然气替代高碳排放化石能源消耗,工业领域天然气能源强度变化较小。

3.3.2 强化政策情景

该情景改变能源消费模式,推动能源结构调整、强化技术进步,工业部门的二氧化碳减排要求更高,非化石能源对化石能源实现较高程度替代,工业领域天然气能源强度变化中等。

3.3.3 碳中和情景

在强化政策情景的基础上,国家减排政策力度加大,政策到2060年实现二氧化碳中和,工业领域碳排放量下降至现状20%左右,远期非化石能源对化石能源实现高等程度替代,工业领域天然气能源强度变化较大。

3.4 分情景预测

在碳达峰、碳中和目标日趋严格的要求下,工业煤改气或将进入新一轮加速期。远期工业领域通过实施电能、氢能、生物质能等清洁能源替代,实现用能

尽早达峰。基础情景下预测 2025~2035 年工业天然气消费需求处于增长阶段, 2035~2040 年为达峰期, 峰值约为 2480 亿方, 2040 年后工业天然气消费需求缓慢下降, 2060 年需求量为 1750 亿方。强化政策情景下预测 2025~2035 年工业天然气消费需求处于增长阶段, 预计到 2035 年达峰, 峰值约为 2430 亿方, 2040 年后需求较快速下降, 2060 年需求量为 1470 亿方。碳中和情景下预测 2025~2035 年工业天然气消费需求处于增长阶段, 预计在 2035 年前达峰, 峰值约为 2380 亿方, 2040 年后需求快速下降, 2060 年需求量为 1180 亿方。从工业领域各主要行业天然气消费需求变化趋势来看, 石油和天然气开采业和化工行业工业燃料在三种情景下 2050 年前的天然气消费需求比较平稳, 金属制品行业在三种情景下天然气消费需求变化趋势一致, 2025~2040 年保持快速增长, 2040 年后逐步被电气化和可再生能源替代。非金属矿物制品是增量最大行业, 三种情景的峰值增量分别为 207 亿方、200 亿方和 184 亿方; 黑色金属冶炼和压延加工业和有色金属冶炼和压延加工业因技术和成本原因, 天然气无法完全替代煤炭, 其中黑色金属冶炼和压延加工业最大增量也仅有 80 亿方左右。

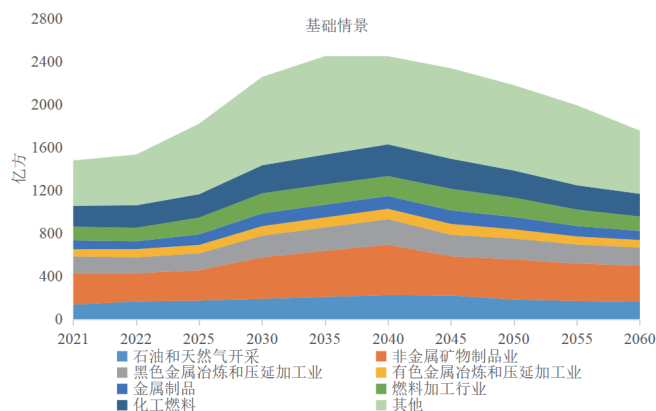


图3 工业各行业基础情景下天然气需求量预测

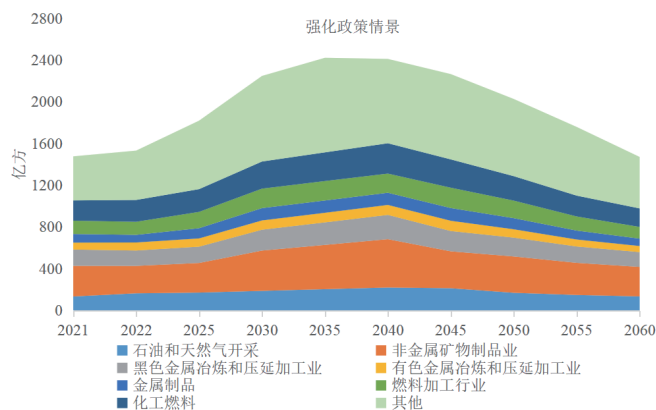


图4 工业各行业强化政策情景下天然气需求量预测

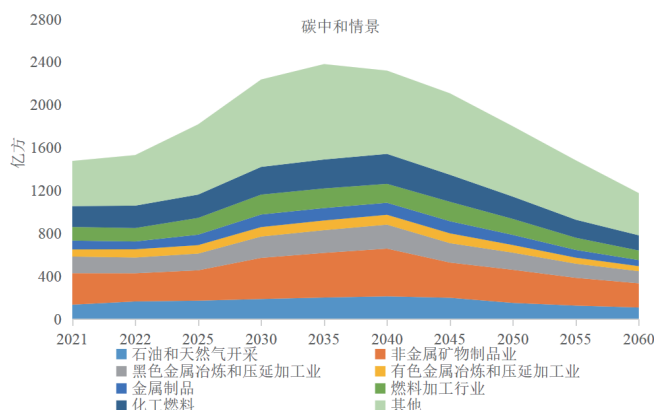


图5 工业各行业碳中和情景下天然气需求量预测

4 结论与展望

展望未来, 天然气在工业中的应用将持续扩大, 基础情景、强化政策情景和碳中和情景预测峰值分别为 2480 亿方、2430 亿方、2380 亿方, 峰值差别不大。随着工业领域能源结构的深度调整和能源消费模式的转变, 预测 2060 年工业可再生能源消费占比达 70%~80%, 天然气成为连接传统化石能源与可再生能源之间的桥梁。三种情景 2060 年天然气需求预测分别为 1750 亿方、1470 亿方、1180 亿方, 需求量差达 570 亿方。反映不同政策、经济和技术条件下天然气在工业能源结构中的不同地位和作用。天然气是推动工业能源结构向绿色化、低碳化转型的重要力量, 未来仍将在工业中更加广泛和深入的应用。

参考文献:

- [1] 刘合, 梁坤, 张国生等. 碳达峰、碳中和约束下我国天然气发展策略研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(6): 8-18.
- [2] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2023 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [3] 国家能源局石油天然气司. 中国天然气发展报告 (2023) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2023.
- [4] 国家统计局. 中国统计年鉴 2023 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [5] 郑小强, 钱璐璐. 基于 LEAP 模型的中国天然气消费情景分析 [J]. 天然气技术与经济, 2023, 17(1): 87-92.
- [6] 周淑慧, 王军, 梁严等. 碳中和背景下中国“十四五”天然气行业发展 [J]. 天然气工业, 2021, 41(2): 171-182.
- [7] 贾爱林, 何东博, 位云生等. 未来十五年中国天然气发展趋势预测 [J]. 天然气地球科学, 2021, 32(1): 17-27.

作者简介:

高福特, 工程师, 2013 年毕业于东北大学 (热能工程专业), 主要从事天然气规划、热泵系统设计工作。