

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.872>



“双碳”目标下我国油气产业发展的思考

马永生¹, 蔡勋育¹, 罗大清², 徐旭辉³, 赵培荣¹, 蒋 珊², 郝风云²

1. 中国石油化工集团有限公司, 北京 100728
2. 中国石化经济技术研究院, 北京 100029
3. 中石化石油物探技术研究院有限公司, 江苏南京 211103

摘要: 在“双碳”目标下, 油气行业面临着保障能源供应和绿色低碳发展的双重使命. 分析全球能源转型大势下油气行业面对的新趋势和面临的新要求, 提出“双碳”目标下我国油气产业发展路径. 一是坚定不移持续加大勘探开发, 确保国家核心油气需求供给安全; 二是加大油气生产过程节能减碳改造, 努力实现绿色低碳发展; 三是推动油气传统能源与风光等新能源协同发展, 实现油气能源与新能源融合互促; 四是积极拓展共生伴生资源, 打造新的业务增长极; 五是大力发展碳捕获、利用与封存 (Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS) 负碳产业, 发挥其在落实“双碳”目标中的兜底作用.

关键词: 双碳目标; 油气产业; 发展思考; 油气地质.

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2022)10-3501-10

收稿日期: 2022-09-22

Thoughts on Development of China's Oil and Gas Industry under "Dual Carbon" Goals

Ma Yongsheng¹, Cai Xunyu¹, Luo Daqing², Xu Xuhui³, Zhao Peirong¹, Jiang Shan², Xi Fengyun²

1. China Petrochemical Corporation, Beijing 100029, China
2. SINOPEC Economics & Development Research Institute, Beijing 100029, China
3. Geophysical Research Institute, SINOPEC Co., Ltd., Nanjing 211103, China

Abstract: Under the “dual carbon” goals, the oil & gas industry faces the dual mission of ensuring energy supply and green and low-carbon development. In this paper it analyzes the new trends and requirements faced by the oil and gas industry under the global energy transition trends, and puts forward the development path of China's oil & gas industry under the “dual carbon” goal. The first is to unswervingly continue to increase exploration and development to ensure the supply security of the country's core oil and gas needs; the second is to increase energy-saving and carbon reduction transformation in the oil and gas production process, and strive to achieve green and low-carbon development; the third is to promote the coordinated development of oil and gas and new energy such as wind and solar power, and realize the integration and mutual promotion of oil and gas and new energy; the fourth is to actively expand the symbiotic and associated resources to create new business growth poles; the fifth is to vigorously develop the CCUS industry and play its role in the implementation of the “dual carbon” goal.

Key words: “dual carbon” goal; oil and gas industry; thoughts on the development; petroleum geology.

作者简介: 马永生 (1961—), 中国工程院院士, 中国石油化工集团有限公司正高级工程师, 长期从事石油天然气地质研究及勘探生产实践等工作.

引用格式: 马永生, 蔡勋育, 罗大清, 徐旭辉, 赵培荣, 蒋珊, 郝风云, 2022. “双碳”目标下我国油气产业发展的思考. 地球科学, 47(10): 3501-3510.

Citation: Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Luo Daqing, Xu Xuhui, Zhao Peirong, Jiang Shan, Xi Fengyun, 2022. Thoughts on Development of China's Oil and Gas Industry under “Dual Carbon” Goals. *Earth Science*, 47(10): 3501-3510.

0 引言

推动绿色低碳发展,减少温室气体排放,有效应对气候变化,是全人类的共同使命与责任。2020年9月22日习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话提出,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。2021年9月,中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,强调以经济社会发展全面绿色转型为引领,以能源绿色低碳发展为关键,坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路,确保如期实现碳达峰、碳中和。2021年10月,国务院发布《2030年前碳达峰行动方案》,明确先立后破,以保障国家能源安全和经济发展为底线,推动能源低碳转型平稳过渡。随后,国家陆续出台重点领域和重点行业碳达峰实施方案及一系列支撑保障措施,推进构建碳达峰碳中和“1+N”政策体系,形成我国碳达峰碳中和工作的顶层设计和战略路径。

实现碳达峰碳中和,是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局做出的重大战略决策,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。能源行业既是保障我

国经济社会发展的重要支撑,也是实现“双碳”目标的关键领域。油气产业作为国家能源体系的核心单元、保障国家能源安全的关键领域、稳定国民经济发展的关键支柱,在“双碳”目标下,既肩负着推进增储上产、履行好保障国家能源安全的重大使命,又承担着落实节能减排、推动行业绿色低碳发展的重要任务(贾承造,2020;马永生,2022;吴谋远等,2022)。

1 全球能源转型趋势

1.1 全球能源消费结构变化趋势

应对气候变化加快全球能源转型步伐。根据各国已宣布的碳中和目标预测,到21世纪中叶,全球能源发展将经历“两缩减、双超越”深刻变化,能源消费结构发生重大调整。

“两缩减”即煤炭和石油消费将梯次进入缩减阶段,在能源结构中的占比大幅下降(图1,图2)。2020年,全球煤炭消费约36亿吨油当量,处于平台期,在能源消费结构中占比约27%;预计未来在能源消费结构中的占比持续下降,2060年或将降至5%左右甚至更低。2020年,全球石油消费约41亿吨油当量,占比30.7%,预计2025—2030年达峰,消费量约45亿吨,之后相当长一段时期内虽仍为主导能源,但消费量稳定一段时间后逐步下降,预计2060年需求规模减少至目前的50%以下,占比降至11%左右。

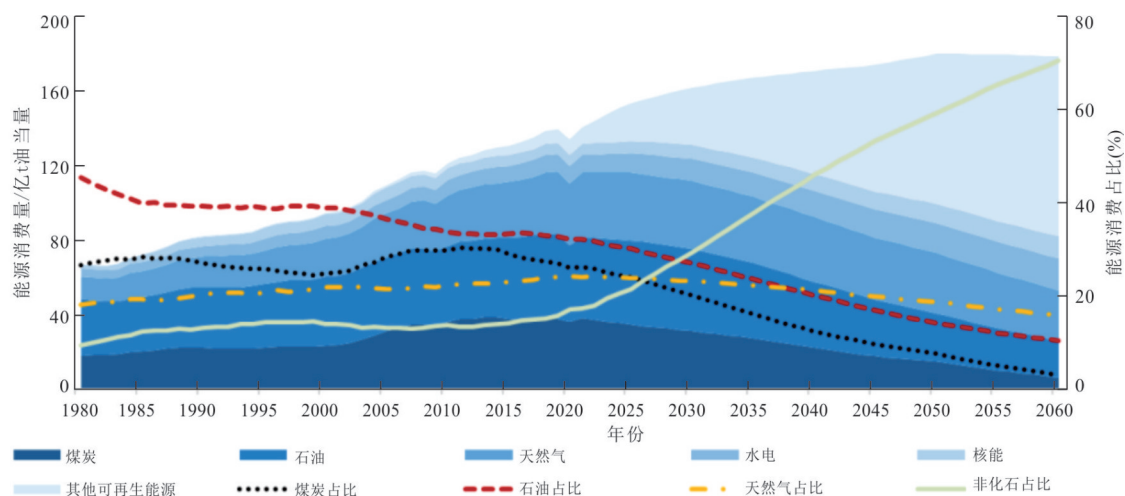


图1 全球能源消费展望

Fig. 1 Global energy consumption outlook

数据来源:中国石化经济技术研究院

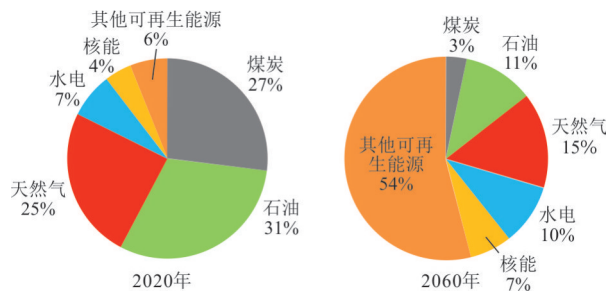


图 2 全球能源消费结构

Fig. 2 Global energy consumption structure

数据来源：中国石化经济技术研究院

“双超越”即天然气消费将先后超越煤炭和石油，非化石能源消费将超越化石能源，特别是非化石能源在能源结构中的占比大幅上升（图 1，图 2）。2020 年，全球天然气消费约 33 亿吨油当量，占比 24.6%。预计 2025 年前后超越煤炭成为第二大能源，消费约 36 亿吨油当量，2040 年前后超越石油成为第一大化石能源，随后进入下降通道；2060 年消费量约 27 亿吨油当量，占比 15% 左右。2020 年，非化石能源消费约 24 亿吨油当量，占比 17.6%，预计 2045 年前将超越化石能源，2060 年在能源消费总量中的占比达到 70% 左右（曹勇等，2022）。

1.2 全球能源政策变化趋势

总体来看，国际上应对气候变化主要通过设定净零排放目标，出台碳中和行动计划，实施包括约束化石能源、发展新能源、遏制甲烷排放、推动碳排放权交易、设置碳税和碳边境税等在内的措施和政策（邱丽静，2022。世界主要国家能源发展战略及政策动向），推进能源结构清洁化和碳排放大幅降低。

1.2.1 出台碳中和行动计划 《巴黎协定》生效以来，各国纷纷提出碳中和目标，发达国家目标集中在 2050 年及之前，发展中国家集中在 2060 年及之后。截至 2022 年 9 月，碳中和目标覆盖全球 136 个国家、83% 的温室气体排放以及 91% 的 GDP (PPP) (<https://zerotracker.net/>)。2021 年以来，欧盟出台“Fit for 55”计划 (<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>)，提出包括能源、工业、交通、建筑等在内的 12 项减排举措，承诺 2030 年温室气体排放量较 1990 年减少 55%；我国公布《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年前碳达峰行动方案》，陆续出台重点领域和重点行业碳达峰实

施方案及一系列支撑保障措施，形成推进碳达峰碳中和工作的“1+N”政策体系；美国发布《迈向 2050 年净零排放的长期战略》，承诺 2030 年排放比 2005 年下降 50%~52%，2050 年实现碳中和；英国、俄罗斯、日本、韩国等也相继出台碳达峰碳中和行动计划。

1.2.2 限制化石能源发展 各国对化石能源发展态度不一，但总体看化石能源发展空间正在逐步压缩。部分国家尤其是欧美国家从消费和生产两端同时发力，通过约束化石能源消费和减少勘探开发许可证发放等举措，限制化石能源发展，主要包括：一是削减化石燃料资金支持、征收化石能源税。2019 年，欧洲投资银行批准实施新的能源贷款政策，提出从 2021 年底开始终止对化石能源项目进行投融资，目前已推进实施；2021 年，欧盟发布联合公报，提出阻止投资所有基于化石燃料的能源基础设施项目；随后出台“Fit for 55”计划，提出逐步取消欧盟在航空业等对化石燃料的免税政策，将海运等领域使用的化石燃料重新纳入课税范围，对不同的燃料使用征收不同的最低税率等。二是设立禁售燃油车时间表。多国提出燃油车禁售计划，尤其是欧洲国家更为积极，比如挪威、法国分别宣布 2025、2040 年禁售燃油车，冰岛、荷兰等国宣布 2035 年禁售燃油车。三是限制油气勘探和开采。美国拜登政府多次暂停发放油气租赁和开采、钻探许可，佛蒙特、马里兰、华盛顿等地相继禁止水力压裂，目前虽已恢复出售钻探租约，但租赁面积大幅减少，特许权使用费大幅增加。

1.2.3 遏制甲烷排放 甲烷是仅次于二氧化碳的第二大温室气体，在国际气候合作日益深化的背景下，甲烷减排受到越来越多的关注。2021 年 11 月 COP26 期间，包括欧盟、美国在内的 105 个国家共同签署《全球甲烷承诺》，提出到 2030 年，全球甲烷排放量要在 2020 年水平上至少减少 30%，并逐步采用最佳清单方法量化甲烷排放；中美发布《关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，提出制定强化甲烷排放控制的额外措施，推动双方甲烷减排联合研究等 (http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/11/content_5650318.htm)；特别是我国计划在国家自主贡献之外，制定一份全面、有力度的甲烷国家行动计划，争取在 21 世纪 20 年代取得控制和减少甲烷排放的显著效果，将甲烷减排提升到了新高度。

1.2.4 实施碳税、碳排放权交易、碳边境税等政策

欧盟在实施碳税、碳排放权交易、碳边境税等政策方面总体走在全球前列。征收碳税方面,欧盟一些国家已经推进实施。因不同国家减排目标不同,欧盟内部没有统一的碳税税率,各成员国之间存在差异,比如芬兰碳税为 1.2 欧元/t 二氧化碳,丹麦约为 9.6 欧元/t 二氧化碳。碳排放交易机制方面,2005 年欧盟建立了全球首个碳交易市场,对区内高耗能企业及航空运营商设置排放上限。若企业排放量超出所持排放配额,将受到惩罚;企业为避免受罚,可向有剩余配额的企业购买配额。同时,欧盟允许企业利用清洁发展机制和联合履行机制产生的减排量抵消自身排放额。为加大碳减排力度,欧盟正在推进减少碳配额发放,从 2021 年起,碳配额发放上限由逐年减少 1.74%,调整为 2.2%,并计划 2024 年再次加大削减幅度。碳边境税方面,2022 年 6 月,欧洲议会最终通过“碳边界调整机制”草案修正案,将从 2023 年 1 月 1 日起实施,2023—2026 年为过渡期,2027 年起正式全面开征,届时进口商需要为其进口产品的碳排放支付费用。

1.3 全球油气行业发展趋势

全球油气行业发展走向主要由国际大石油公司主导。应对气候变化背景下,国际大石油公司受到来自政府、投资者和公众的环保监管或监督压力日益增大,纷纷加大转型力度,包括:积极调整发展战略,嵌入低碳发展理念,陆续公布净零计划;重塑业务组织架构,成立“高级别、跨部门”低碳机构;多家石油巨头更新品牌名称与标志,由国际石油公司(IOC)迈向国际能源公司(IEC)等。总体看,以欧美为代表的国际大石油公司形成了特点各异、特色鲜明的低碳发展策略,比如欧洲公司发力可再生能源,美国公司则注重负碳技术研发(但欧美都将天然气作为转型发展的重要抓手),具体看有以下特征:

欧洲石油公司油气资源相对匮乏,转型较为积极,加快由“油气生产商”向“综合能源公司”转型。已形成较为系统清晰的转型策略,从碳排放范围出发,发布净零路线图、能源转型报告,并据此调整组织架构、重新平衡其投资组合,包括削减传统石油业务、发展天然气和液化天然气(liquefied natural gas, LNG)业务,以及加大可再生能源投入等,向公众阐述其低碳发展雄心。bp 公司计划未来 10 年内削减 40% 以上的石油和天然气产量,不在新的国家及新的区域进行勘探;每年低碳投资将从现阶段的 5

亿美元增加到 2030 年的 50 亿美元,可再生能源装机从 2019 年的 2.5 吉瓦增加至 2030 年的 50 吉瓦。壳牌公司将电力确定为公司三大重点业务之一,计划 2030 年前将石油产量每年减少 1%~2%,氢能供应达到两位数市场份额,电力销量翻倍至 560 太瓦时,力争届时成为全球最大的综合电力供应商。道达尔公司计划 2030 年石油产量达峰后逐步减少,但可再生能源发电装机由 2021 年的 10.3 吉瓦增加至届时的 100 吉瓦后继续快速增长。

美国石油公司油气资源较为丰富,转型相对保守,但近年来迫于投资者和社会压力日益增大,亦提出净零目标。2020 年以来美国石油公司陆续发布可持续发展报告,坚持传统油气业务不动摇,多以投入“负”碳技术、剥离“高碳排”资产为主,在风电、光伏等可再生能源领域投入相对较少,碳减排目标与欧洲石油公司差距明显。埃克森美孚公司在继续发展油气业务的同时,大幅提高低碳负碳业务投资,从 2021—2025 年的 30 亿美元提升到 2022—2027 年的 150 亿美元,投资占比从 3.6% 提升至 13% 左右;成立碳捕集技术部门,计划 2025 年前投入 35 亿美元推动 20 个 CCUS 项目部署。雪佛龙公司计划未来五年将油气产量从 320 万桶油当量/日提升至 350 万桶油当量/日;大幅提高低碳业务投资,2021—2028 年低碳投资达到 100 亿美元;增加可再生能源布局,发展低碳排组合,计划 2030 年可再生天然气产量达到 400 亿英热单位/日,氢年产量扩大到 15 万吨,二氧化碳封存量扩大到 2 500 万吨/年。

在全球能源转型加快演进背景下,化石能源遭遇投资不足困局。2014 年,化石能源投资达到近 1 万亿美元的峰值,2021 年降至不到 4 000 亿美元,降幅达 60%,其中油气勘探开发投资仅约 3 100 亿美元,较 2019 年下降 30%。鉴于化石能源仍将较长时期占据能源消费主体地位,其投资过早过快加速退出,对能源供给安全带来严峻挑战。国际评级机构穆迪认为,全球油气投资需达到每年 5 400 亿美元的水平才能保持安全稳定供应。预计未来相当长时期内,油气投资仍需继续恢复,以支撑产量增长和供需基本平衡。

2 我国油气产业发展新趋势和面临的新要求

2.1 发展现状及发展潜力

我国油气资源较为丰富,但资源禀赋复杂。要

坚持海陆并举、油气并重、常非并进,通过持续加大勘探力度,强化重点盆地和海域油气基础地质调查和勘探,夯实资源接续基础;加大储量有效动用和提高采收率,推进新区建产上产和老区控减稳产;加快深层、深水和非常规油气等难开资源勘探开发技术攻关,不断拓展新的增储上产领域,努力实现石油产量长期稳产在 2 亿吨水平、天然气力争上产到 3 000 亿 m^3 左右。

2.1.1 我国油气资源潜力及分布情况 根据近年相关研究成果,全国石油(包括常规、致密、页岩油)地质资源量 1 486 亿吨,天然气(包括常规气、致密气、页岩气、煤层气)地质资源量 247 万亿 m^3 (图 3)。

陆上常规油气资源丰富,富油气大盆地是未来勘探开发重点领域。陆上常规油(包括致密油)地质资源量达 957 亿吨,主要分布在渤海湾、准噶尔、松辽、塔里木、鄂尔多斯、柴达木这六大盆地。常规气(包括致密气)地质资源量达 90 万亿 m^3 ,主要分布在四川、渤海湾(陆上)、准噶尔、松辽、塔里木、鄂尔多斯、柴达木这七大盆地。油气资源探明率分别为 36% 和 14%,仍具有较大的勘探潜力。

深层是未来陆上常规油气勘探的重点领域。近年我国新增常规油气储量中深层油气占比较高,如塔里木盆地顺北油气田、准噶尔盆地玛湖凹陷、库车坳陷博孜-大北地区等重大油气发现均属深层。从相关研究成果看,我国深层常规油待探明地质资源量 186 亿吨,深层常规气待探明地质资源量 40 万亿 m^3 ,探明率分别仅 15% 和 9.5%,勘探潜力大。

非常规油气资源潜力大,尤其是页岩油气资源潜力较大,是未来增储上产的重要接替领域(图 3)。全国页岩气资源量达 105 万亿 m^3 ,其中:四川盆地及周缘页岩气资源最为丰富,占全国的 45%,已在五

峰-龙马溪组率先实现商业开发,截至 2020 年底探明页岩气地质储量超过 2 万亿 m^3 ;深层页岩气攻关初见成效,常压页岩气实现规模探明和有效开发,鄂西等南方地区下古生界获得重大发现,实现了我国页岩气发展从上扬子向中扬子拓展。目前,我国页岩气整体探明程度很低,探明率仅 1.9%,未来具有较大增储和上产潜力。全国页岩油地质资源量 283 亿吨,主要分布在渤海湾、鄂尔多斯、松辽和准噶尔盆地,地质资源量合计占全国总量的 70% 以上,具备规模性勘探开发的资源基础,其中渤海湾盆地页岩油资源最丰富,地质资源量和可采资源量分别占全国总量的 27% 和 33%。近年来,已在新疆建立吉木萨尔国家级陆相页岩油示范区,在大庆建立古龙陆相页岩油国家级示范区,在山东建立胜利油田济阳页岩油国家级示范区,在苏北、柴达木盆地取得页岩油勘探重大突破。页岩油有望成为原油增储上产的重要接替领域。

近海和深水油气资源丰富。我国近海常规油地质资源量 246 亿吨,待探明地质资源量 193 亿吨;常规气地质资源量 23 万亿 m^3 ,待探明地质资源量 22 万亿 m^3 。主要分布在近海渤海湾、珠江口、东海、北部湾、琼东南等含油气盆地,以中高渗储层为主,易开采、采收率高、产能稳定,提高产能和提升效益潜力大,是近中期海上油气增储上产主阵地。我国深水油气资源也十分丰富,水深大于 300 m 的深水-超深水区域常规油、常规气地质资源量分别占海域总资源量的三成多和约四成,目前探明率只有 4% 和 20%,尚处于勘探起步阶段,勘探潜力大,是未来战略接替领域。

2.1.2 油气储产量增长趋势 近年我国新增油气

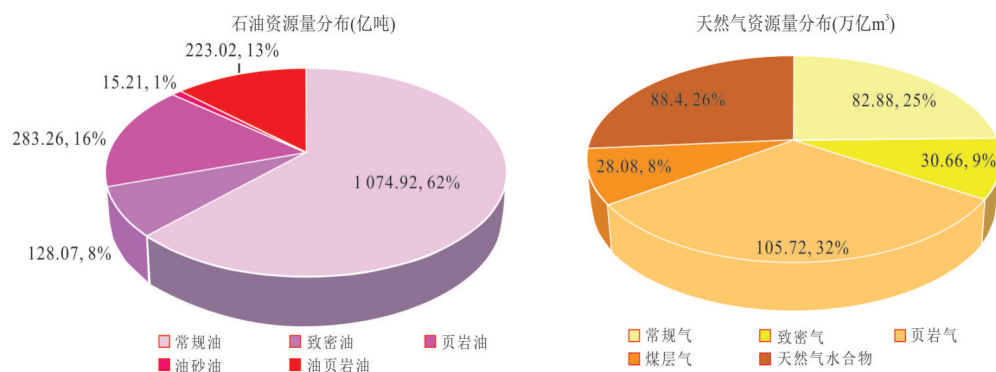


图 3 我国油气资源占比

Fig. 3 The proportion of oil and gas resources in China

数据来源:中国工程院《油气工程技术 2035 发展战略研究》成果,2019

探明地质储量保持高位稳定和增长态势。七年行动计划(2019—2025)实施以来,多个重大发现推动油气新增储量快速增加,剩余可采储量保持增长态势。根据资源基础和技术突破等判断,预计未来较长时期内新增石油探明储量将继续保持高位,剩余可采储量保持稳定,支撑石油长期稳产;新增天然气探明储量将继续保持增长态势,剩余可采储量保持稳定或增长,支撑天然气产量较长时期内稳步增加。

2021年,我国石油产量1.99亿吨,天然气产量超过2 000亿 m^3 ,产自全国1 000多个油气田,其中大型油气田100多个,中型200多个,小型700多个。油田主要分布在东部、西北和海域,东部主要分布在松辽盆地大庆油田、渤海湾盆地胜利油田,西北主要分布在鄂尔多斯盆地长庆油田、准噶尔盆地新疆油田、塔里木盆地塔里木油田和西北油田,海域主要分布在渤海油田和南海油气田;气田主要分布在西北、西南和海域,西北主要

分布在鄂尔多斯盆地长庆油田、塔里木盆地塔里木油田,西南主要分布在四川盆地西南油气田,海域主要分布在南海油气田(图4)。

基于既有储量和潜在资源勘探潜力,未来我国常规石油产量预计稳中略降,非常规石油产量将逐步增加并成为重要补充。预计2020—2035年常规石油产量略降后稳定在1.9亿吨左右,致密油产量从350万吨增长到800万吨,页岩油产量从50万吨增长到1 000万吨,成为增产主力(图5),助力石油总产量稳定在2亿吨水平。东部老区要着重发展先进采油技术,提高采收率,关键要努力稳住松辽盆地、渤海湾盆地等老油田产量;西部地区以鄂尔多斯、塔里木、准噶尔盆地等重点,推进新油田增储上产;海域以渤海、南海为重点,聚焦规模发现,大力增储上产;页岩油加大技术攻关,推进规模效益开发。

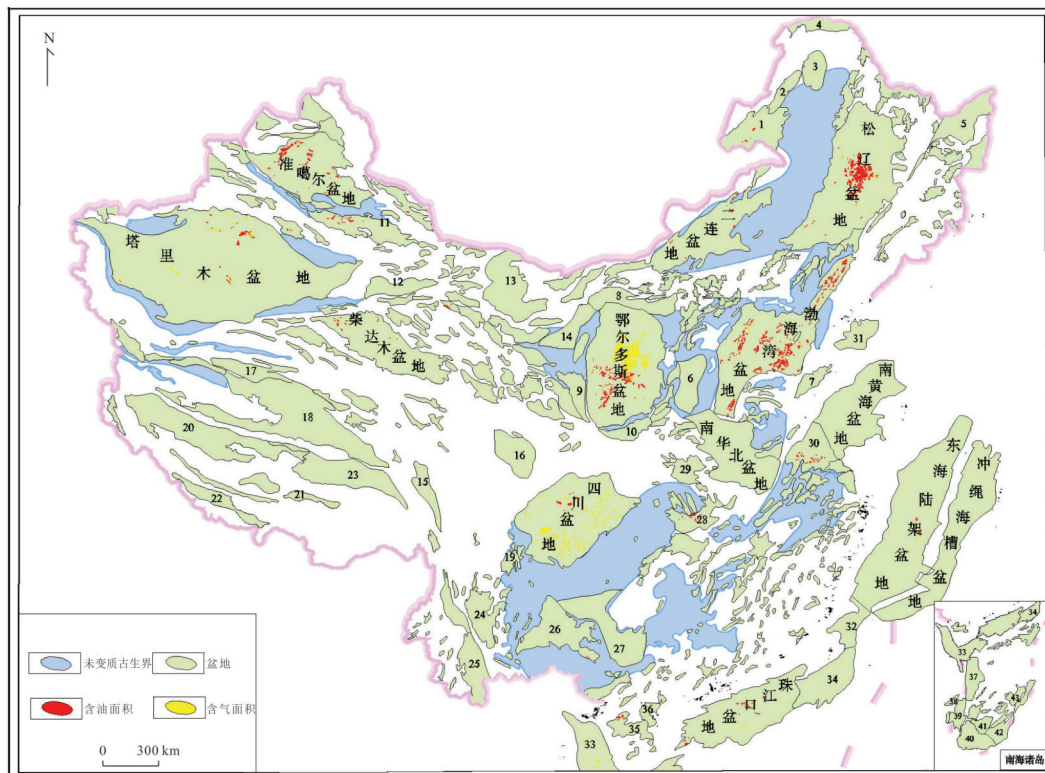


图4 中国含油气盆地和油气田分布

Fig. 4 The distribution of petroleum basins in China

来源:自然资源部;审图号:GS(2012)710号。1.海拉尔盆地;2.拉布达林盆地;3.根河盆地;4.漠河盆地;5.三江盆地;6.沁水盆地;7.胶莱盆地;8.河套盆地;9.六盘山盆地;10.渭河盆地;11.吐哈盆地;12.敦煌盆地;13.巴丹吉林盆地;14.巴音浩特盆地;15.昌都盆地;16.松潘—阿坝盆地;17.洋湖盆地;18.羌塘盆地;19.西昌盆地;20.措勤盆地;21.拉萨盆地;22.岗巴定日盆地;23.比如盆地;24.楚雄盆地;25.景谷—思茅盆地;26.南盘江盆地;27.黔南—桂中盆地;28.江汉盆地;29.南襄盆地;30.苏北盆地;31.北黄海盆地;32.台西盆地;33.莺歌海—琼东南盆地;34.台西南盆地;35.北部湾盆地;36.雷琼盆地;37.中建南盆地;38.涪公盆地;39.万安盆地;40.曾母盆地;41.北康盆地;42.文莱沙巴盆地;43.礼乐盆地

天然气仍处于勘探开发早中期,产量将继续保持较快增长.有关研究预测我国 2025 年天然气产量 2 200 m³左右.根据《“十四五”现代能源体系规划》(https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220322_1320016.html),预计 2025 年我国天然气产量将达到 2 300 亿 m³以上.随着海域深水、陆上深层-超深层常规天然气、深层-超深层页岩气、深层煤层气勘探开发技术的突破和完善,预计 2035 年天然气产量将具备达到 3 000 亿 m³左右的资源潜力,尤其是非常规气在 2035 年后有望占天然气总产量的 50% 左右(图 6).鄂尔多斯、四川、塔里木等陆上盆地和海域是天然气发展的重点地区,要继续做大这四大天然气生产基地,推动常规气产量稳步增加,非常规气较快发展:一是打造鄂尔多斯盆地“致密气”生产基地,继续加大致密气开发力度,并推进深层煤层气等多种资源综

合协同开发,提高资源开采水平;二是打造四川盆地“双富集气”(常规气和非常规气富集区)生产基地,加大常规气高效开发和页岩气有效开发,推进天然气继续大幅上产;三是打造塔里木盆地“深层气”生产基地,加大塔里木深层超深层资源勘探开发,推进天然气增储上产;四是打造海域“深水气”生产基地,重点加强南海深水区资源开发,进一步加快增储上产步伐,扩大产能规模.

2.2 “双碳”目标下,我国油气产业发展面临的新要求

2.2.1 大力保障能源安全 能源转型大势和“双碳”目标要求下,我国能源体系将逐步从以化石能源为主向非化石能源为主转变.从能源体系角度看,非化石能源发展迅猛,但其中的风能和太阳能等具有波动性、间歇性特点,给电力系统安全稳定运行带来挑战,接替化石能源主体地位尚需时日,预计化石能源

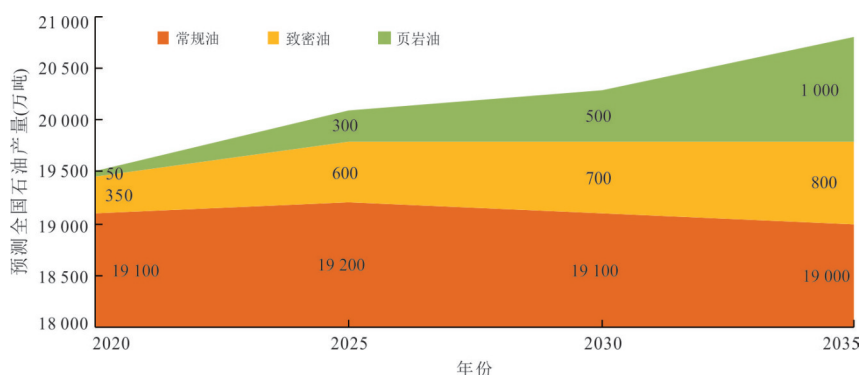


图 5 全国石油产量发展预测

Fig. 5 National oil production development forecast

数据来源:中国工程院《油气工程技术 2035 发展战略研究》成果,2019

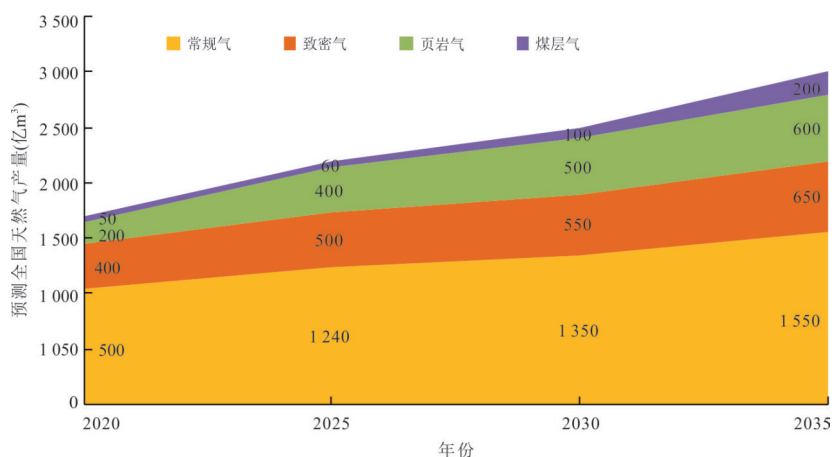


图 6 全国天然气产量发展预测

Fig. 6 National natural gas production development forecast

数据来源:中国工程院《油气工程技术 2035 发展战略研究》成果,2019

相当长时期内仍是主体能源。从油气供应角度看,受制于我国资源禀赋,原油对外依存度将长期保持高位,天然气对外依存度也将继续攀升。从油气消费角度看,未来我国石油消费将继续增长,预计2027年前后达峰,峰值接近8亿吨,峰值对外依存度达到75%左右,同时随着燃油经济性提升和替代燃料渗透,石油需求将从燃料进一步转向化工原料。天然气作为最清洁低碳的化石能源,将继续较快增长并替代煤炭以及满足新能源调峰需求,预计2035—2040年间达峰,峰值5.5亿吨油当量左右,峰值对外依存度达到50%左右。油气消费达峰并经历一段平台期后依次进入下降通道,但即使到2050年,我国石油、天然气需求预计仍将分别保持在4亿吨油当量以上和5亿吨油当量左右(图7),仍需大量进口。从国际能源市场看,当前国际环境日趋复杂,全球能源格局面临重新调整,获取外部资源的不确定性和风险增大,树立底线思维、“能源的饭碗必须端在自己手里”的重要性更加凸显。因此,“双碳”目标下,油气供应安全仍是保障国家能源安全最核心、最关键的工作,需继续加大油气投资力度,努力实现稳油增气。

2.2.2 实现绿色低碳发展 油气企业既是能源供应商,也在勘探开发过程中消耗能源,油气生产过程中的气体逃逸和能源消耗过程中的燃料燃烧,均会产生温室气体排放。随着油气勘探开发难度加大和资源劣质化加剧,油气生产节能降耗难度和压力增大。根据中国石油、中国石化披露数据,我国油气勘探开发温室气体排放强度约45.0 kg二氧化碳/桶油当量(刘殊呈等,2021),比国际平均排放强度高出较多。据《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》,2014年我国甲烷排放量为5 529万吨,其中化石能源活动的甲烷排放占比达到44.8%,而化石能源排放的甲烷中又有89%与逸散相关,其中相当部分来自于油气开采过程中的逸散。碳达峰碳中和目标要求油气行业在确保油气供应、保障国家能源安全的同时,必须进一步做好自身节能降耗减碳工作,通过优化能源利用结构,加快推进技术升级促进节能减排,实施清洁替代和能源清洁化利用,提高电气化水平,实现油气田绿色低碳开发。

总体来看,我国具备实现石油长期稳产2亿吨、天然气继续快速上产的资源基础,并面临保障国家能源安全和落实双碳目标的双重任务,这要求我们既要持续加大勘探开发增加油气供给,又要持续大力实施节能减排降碳和调整能源结构,努力实现绿色低碳发展。

3 “双碳”目标下我国油气产业发展路径

3.1 坚定不移持续加大勘探开发力度,确保国家核心油气需求供给安全

要深入贯彻习近平总书记关于大力提升勘探开发力度的重要批示精神,牢记“能源的饭碗必须端在自己手里”的重要指示,落实好“稳油增气”主体责任。继续加大国内油气勘探开发力度,坚持海陆并举、油气并重、常非并进,强化重点盆地和海域油气基础地质调查和勘探,夯实资源基础。加快推进储量动用,推动已开发油田“控递减”和“提高采收率”,稳住老油气田产量;加大新油气田开发力度,努力实现持续稳产增产。加大拓展非常规资源,加快页岩油、页岩气和煤层气开发,推动快速上产。从增长领域来看,海域、陆上深层、非常规油气资源丰富且探明率低,未来具有较大增储增产潜力,是我国实现“稳油增气”目标的重要支撑。从技术攻关领域来看,要针对我国油气资源禀赋特点和所处开发阶段,加大科技攻关力度,全力支撑增储上产,确保原油产量长期稳定在2亿吨水平、天然气产量持续稳步增长。要积极研究应用提高采收率技术,持续深入攻关老油田三次采油技术、水驱精细开发技术、稠油超稠油开发技术等;加快研究攻关深层和深水油气勘探开发技术,集中力量攻克陆上深层超深层、海上深水超深水和高温高压、复杂构造、复杂储层油气田勘探开发技术及关键配套工程装备;积极攻关探索非常规方面的致密气、页岩气、深层煤层气开发新技术和页岩油规模效益开发技术,研发推广适合不同煤阶的煤层气抽采技术等。

3.2 加大油气生产过程节能减碳改造,努力实现绿色低碳发展

要努力做到“绿色低碳”,全面打造绿色油气田。我国油田开采过程中采用的动力设备数量偏多,开采效率偏低、能耗大,加之所耗能源以煤等化石能源为主,产生大量温室气体排放(吴迪,2021)。为实现生产过程绿色化,要通过加大节能、深度电气化改造和甲烷减排等实现降碳。节能方面,通过技术革新和方法改进提高勘探开发效率,通过推动关键耗能设备节能和工艺流程技术改造等提高能源利用效率和降低能耗。电气化改造方面,推动油气生产“油改电”、“油改气”等工作,大力推广网电钻机、网电修井机和电动压裂装备,并加大外购绿色电力,改善用能结构,使用能更加清洁化。甲烷减排方面,针对油气勘探、开发、生产、集输、处理等各个环节和放空、逸散等排放类型,通过强化密闭混输工艺运用,大力实施套管气回收、火炬气综合利

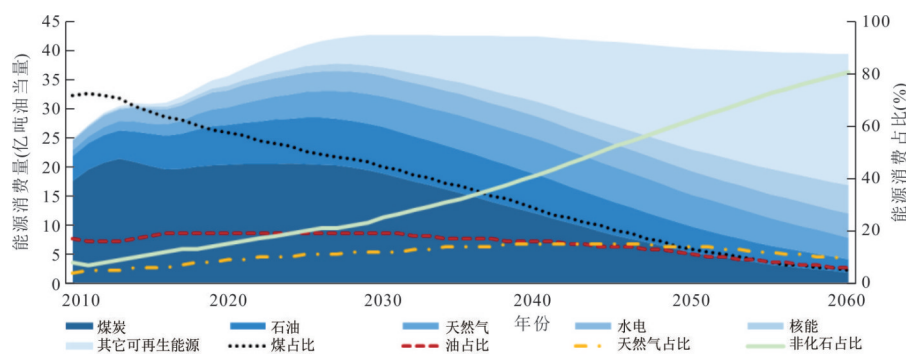


图 7 中国能源消费展望

Fig. 7 China's energy consumption outlook

数据来源:中国石化经济技术研究院

用、边远零散井回收,以及更换泄露设备和管道、压缩机站检漏和维修、维护期间停止通风等方式,加大甲烷治理力度,努力减少甲烷泄露。

3.3 推动油气传统能源与风光等新能源协同发展

国家发改委、国家能源局《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》提出,鼓励油气企业利用自有建设用地发展可再生能源和建设分布式能源设施,在油气田区域内建设多能融合的区域供能系统。油气企业矿区内大多拥有较为丰富的太阳能、风能等清洁能源资源,同时拥有自备电网和用能需求等消纳优势。一方面,油气企业可结合自身生产特点,发展光伏发电、地热余热等替代化石能源,减少生产过程中的化石能源消耗,降低温室气体排放。比如,对于西北、海上等拥有良好风光资源和可利用场地条件的油气田,推进开发光伏和风能发电,并结合市场需求发展绿电制绿氢;对于老油气田,盘活用好废弃井资产,结合市场需要有效推进地热能开发利用,并推进油气井采出水余热开发用于生产加热。此外,油气勘探开发及配套工程技术体系可拓展应用到部分新能源开发领域,比如用于地热能勘探开发和海上风电开发相关的海工设计、建设、运营和维护等。另一方面,可通过探索油气产业与新能源产业、电力产业协同发展,构建形成多能互补的综合能源供给体系,进一步培育绿色低碳业务这一新的增长极,为企业高质量发展积蓄绿色新动能。

3.4 积极拓展共生/伴生资源,打造新的业务增长极

油气共生/伴生矿种类较多且资源丰富,综合开发利用潜力大,有可能成为油气田继石油和天然气之外的第三大类资源。

油田卤水富含钾、钙、镁、锂等矿产资源,具有较好的开发前景。近年来随着电动汽车快速发展,

锂等电池相关矿产资源成为行业关注焦点,需求量飞速增长。钾盐作为用于生产化肥等产品的战略性资源,对保障国家粮食安全意义重大,是列入自然资源部鼓励开发的七种紧缺矿产之一。我国油田卤水资源分布广泛,尤以江汉、四川、柴达木和塔里木等盆地资源最为丰富。要坚持油气与钾锂兼探,加快推进油田卤水综合开发利用,加大卤水提锂力度,助力新能源发展和实现油气田可持续发展。

氦气作为航空航天、半导体等高科技工业领域至关重要的稀有气体,已成为各国高度重视的重要战略资源。我国部分油气藏、非烃气藏,以及地热开采伴生的气体中,均含有一定的氦气,具有较好的开发利用前景(陈新军,2020)。在油气和地热开发过程中,要加强资源综合利用,兼顾氦气资源开发,助力国家新兴产业和高科技产业用氦安全。

干热岩是一种地下高温岩体,近年成为世界关注的新型潜在能源。我国干热岩资源潜力巨大,初步估算地下3~10 km范围内干热岩资源折合标煤达860亿吨(巩亮等,2022)。国家能源局《关于促进地热能开发利用的若干意见》提出,到2025年,地热能供暖(制冷)面积比2020年增加50%,地热能发电装机容量比2020年翻一番;到2035年,地热能供暖(制冷)面积及地热能发电装机容量力争比2025年再翻一番;鼓励有条件的地区建设中低温和干热岩地热能发电工程。油气行业可依托钻井、压裂等技术优势,积极开发油区地热资源和探索开发干热岩资源。

3.5 大力发展CCUS产业

CCUS既是油气勘探开发低碳转型的重要手段,更是助力全社会实现碳中和的兜底保障。近年来,国内外均在积极研发CCUS技术和推进CCUS项目。截至2020年,全球已实施规模以上CCUS项目21个,其中用于提高油田采收率的项目16个,超

过 80% 的二氧化碳捕集用于油田提高采收率(张俊峰和徐庆虎, 2021)。“双碳”目标下, 2030 年我国 CCUS 减排需求约 0.2~4.1 亿吨, 2060 年约 10~18 亿吨; 我国适合二氧化碳驱油的原油地质储量达 130 亿吨左右, 可提高采收率约 15 个百分点, 增加可采储量 19.2 亿吨, 并封存二氧化碳约 47~55 亿吨(蔡博峰等, 2021; 仲蕊, 2022)。近中期, 考虑经济效益和兼顾社会效益, 油气企业可在油田发展二氧化碳驱油; 远期随着油价回落及碳价提高, 驱油效益趋差, 埋存效益显现, 可发展枯竭油气藏二氧化碳封存, 在实现自身减排的同时为社会贡献减碳方案。

4 小结

油气产业作为国家能源体系的核心单元、保障国家能源安全的关键领域、稳定国民经济发展的关键支柱, 在“双碳”目标下, 要积极探索新的发展路径以实现行业高质量发展。一方面, 要扛好保障国家能源安全的职责使命, 加大勘探开发力度, 尤其是大力攻关深层、深水和非常规等关键技术, 全力实现稳油增气, 确保国家核心油气需求供给安全。另一方面, 通过生产过程节能减排降碳改造、推动油气传统能源与风光等新能源协同发展等方式实现自身绿色低碳转型, 并大力发展 CCUS 等产业, 为全社会贡献减碳力量, 助力国家双碳目标的实现。

References

- Cai, B.F., Li, Q., Zhang, X., et al., 2021. China Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) Annual Report (2021)—Research on China's CCUS Pathway. Chinese Academy of Environmental Planning, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, The Administrative Center for China's Agenda 21, Wuhan (in Chinese).
- Cao, Y., Cheng, N., Luo, D.Q., 2022. The New Role of Hydrogen Energy Industry in Energy Transition. *Green Petroleum & Petrochemicals*, 7(1): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- Chen, X.J., 2020. Development Status and Trends of Comprehensive Exploration and Evaluation of Oil and Gas Associated Minerals. *Natural Resource Economics of China*, 33(5): 34–38 (in Chinese with English abstract).
- Gong, L., Han, D.X., Chen, Z., et al., 2022. Research Status and Development Trend of Key Technologies for an Enhanced Geothermal System. *Natural Gas Industry*, 42(7): 135–159 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C.Z., 2020. Development Challenges and Future Scientific and Technological Researches in China's Petroleum Upstream. *Acta Petrolei Sinica*, 41(12): 1445–1464 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S.C., Su, K.H., Li, W., et al., 2021. Greenhouse Gas Emission Status of Oil and Gas Upstream Business and Analysis on Carbon Neutrality Path. *International Petroleum Economics*, 29(11): 22–33 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y.S., 2022. Make Greater Contributions to the End of the Energy Rice Bowl. *Chinese Industry & Economy*, (3): 69–72 (in Chinese).
- Wu, D., 2021. Comprehensive Application of Energy Saving and Consumption Reduction Technology in Petroleum Exploitation. *Chemical Management*, (8): 46–47 (in Chinese with English abstract).
- Wu, M.Y., Kang, Y., Fan, X.Q., et al., 2022. Study and Practice of Green Transition by China's Oil and Gas Enterprises under Carbon Peak and Carbon Neutrality Background. *Petroleum Science and Technology Forum*, 41(4): 18–24 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J.F., Xu, Q.H., 2021. Impacts and Suggestions of Carbon Trading on Oil and Gas Enterprises. *International Petroleum Economics*, 29(7): 9–13 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, R., 2022. Carbon Dioxide Flooding Potential Remains to be Tapped. *China Energy News*, 2022-01-19 (in Chinese).

附中文参考文献

- 蔡博峰, 李琦, 张贤, 等, 2021. 中国二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 年度报告 (2021)——中国 CCUS 路径研究. 武汉: 生态环境部环境规划院, 中国科学院武汉岩土力学研究所, 中国 21 世纪议程管理中心.
- 曹勇, 程诺, 罗大清, 2022. 能源转型大势下的氢能产业新角色. *石油石化绿色低碳*, 7(1): 1–5.
- 陈新军, 2020. 油气伴生矿产综合勘查评价发展现状与趋势. *中国国土资源经济*, 33(5): 34–38.
- 巩亮, 韩东旭, 陈峥, 等, 2022. 增强型地热系统关键技术研究现状及发展趋势. *天然气工业*, 42(7): 135–159.
- 贾承造, 2020. 中国石油工业上游发展面临的挑战与未来科技攻关方向. *石油学报*, 41(12): 1445–1464.
- 刘殊呈, 粟科华, 李伟, 等, 2021. 油气上游业务温室气体排放现状与碳中和路径分析. *国际石油经济*, 29(11): 22–33.
- 马永生, 2022. 为端好能源饭碗作出更大贡献. *中国产经*, (3): 69–72.
- 吴迪, 2021. 节能降耗技术在石油开采中的综合应用. *化工管理*, (8): 46–47.
- 吴谋远, 康煜, 范旭强, 等, 2022. “双碳”背景下我国油气企业绿色转型研究与实践. *石油科技论坛*, 41(4): 18–24.
- 张俊峰, 徐庆虎, 2021. 碳交易对油气企业的影响及对策建议. *国际石油经济*, 29(7): 9–13.
- 仲蕊, 2022. 二氧化碳驱油潜力待挖. *中国能源报*, 2022-01-19.