

研究进展

北极地区油气资源分布特征与开发利用分析

孙迪 张厚和 郝婧 李春荣 刘世翔 蒋德鑫 李易灿

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要 北极地区蕴藏着丰富的油气资源, 对优化我国能源进口结构及有效分散石油进口风险具有重要意义。基于标普全球和美国地质调查局最新数据, 本文开展了环北极主要国家油气勘探开发历程分析和北极地区油气资源时空分布特征分析。分析结果表明: (1) 北极地区油气勘探开发工作主要在俄罗斯、美国、加拿大、挪威和丹麦五国开展, 分为早期调查(至 1963 年)、陆上大发现和早期开发(1964—1976 年)、海陆并进和快速上产(1977—1992 年)、勘探低迷和开发高位徘徊(1993 年至今)4 个阶段。(2) 北极地区已发现油气田 519 个, 累计油气探明和控制可采储量 474 亿吨油当量, 累计产量 162 亿吨油当量, 待发现资源量 1159 亿吨油当量, 呈现出油气构成不均、海陆分布不均、国别分布不均和层位分布不均的特点。基于对环北极国家油气开发利用情况和前景的综合考量, 建议我国积极与俄罗斯开展天然气勘探开发合作, 在夯实管道天然气开发建设进程的基础上, 拓展液化天然气和北极航道基础设施建设合作领域。

关键词 油气资源 分布特征 开发利用 俄罗斯 北极地区

doi: 10.13679/j.jdyj.20240001

0 引言

2022 年, 乌克兰危机引发全球能源格局深刻调整, 国际油气贸易流向和供需格局发生逆转, 加之美国联邦储备委员会连续多次加息, 造成国际油气价格剧烈波动、能源价格体系紊乱, 维护能源供应安全成为国家能源政策的首要目标^[1]。

北极地区蕴藏着丰富的油气资源, 对优化我国能源进口结构及有效分散油气进口风险具有重要意义。北极地区油气的相关研究目前主要集中在含油气盆地类型划分、构造演化分析、极地油气勘探开发装备技术发展及油气资源国际合作战略研究等方面^[2-18], 对于油气资源时空分布规律及资源潜力评价研究薄弱, 且现有数据陈旧, 相关资源量、储量和产量数据亟待更新。为此, 本

文系统梳理了标普全球(Standard and Poor's Global, S&P Global)最新数据和美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)最新一轮北极油气资源评价结果, 以油气田为最小统计单元, 从油气田、盆地、国家尺度, 区分陆地/海上、层系、岩性等因素, 全方位多角度开展北极地区油气资源时空分布规律及资源潜力研究。同时, 分析了北极主要国家的北极战略、油气勘探开发进程及合作走向, 为我国参与北极油气资源开发利用提出建议。

1 区域范围及自然地理概况

北极地区是指北极圈(66.5°N)以北的广大区域, 主要由以北冰洋为主体的大洋及围绕其周边分布的陆地和岛屿组成, 总面积约 $2.1 \times 10^7 \text{ km}^2$, 占地球表面积的 6.0%^[15]。环北冰洋地区陆地和岛

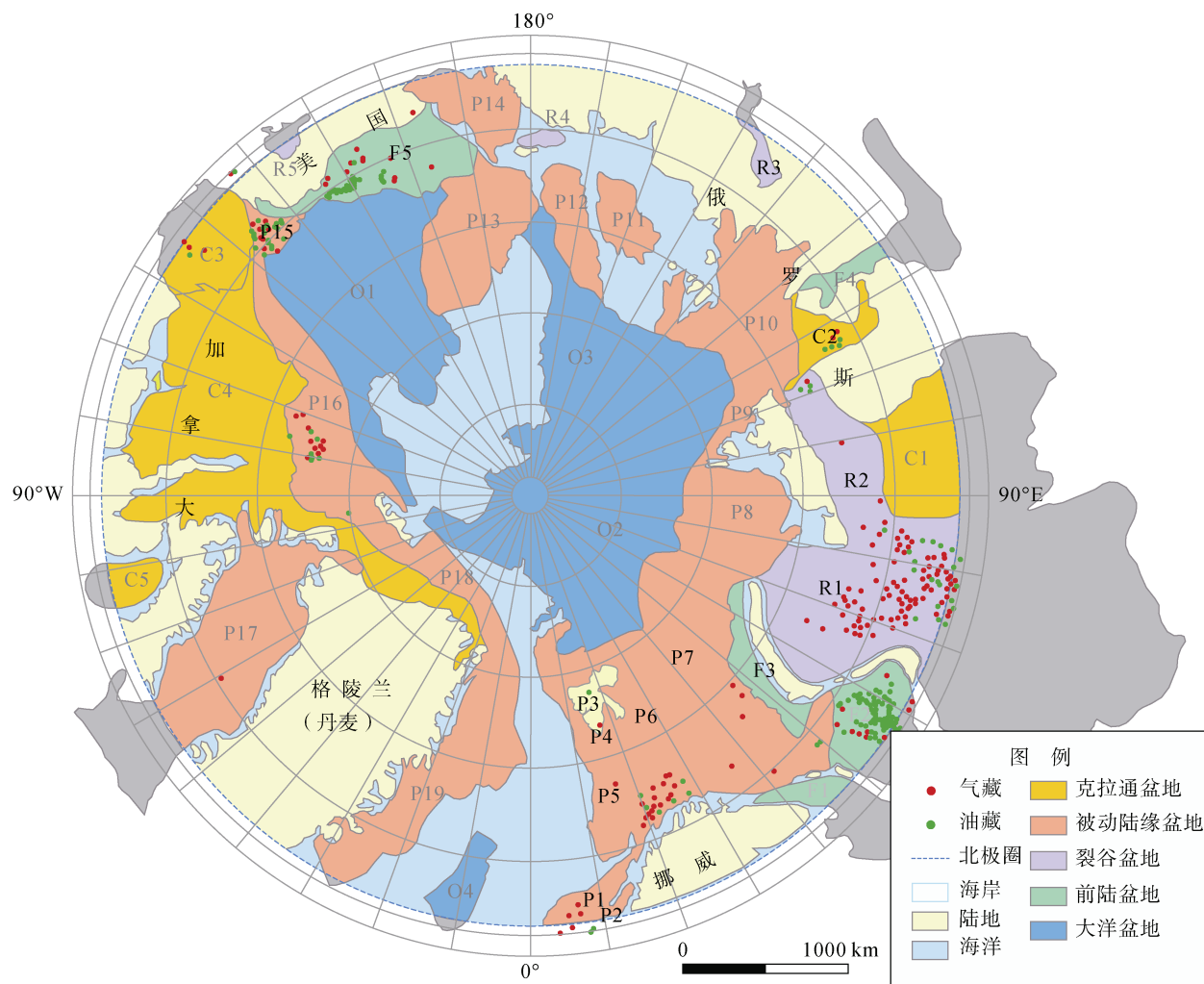
[收稿日期] 2024 年 1 月收到来稿, 2024 年 3 月收到修改稿

[基金项目] 中国工程院战略研究与咨询项目(2022-XBZD-08)资助

[作者简介] 孙迪, 女, 1992 年生。博士研究生, 主要从事油气勘探规划研究工作。E-mail: sd19920623@163.com

屿面积约 $8.0 \times 10^6 \text{ km}^2$, 在行政区划上属于俄罗斯、加拿大、美国(阿拉斯加)、丹麦(格陵兰)、挪威(包括斯瓦尔巴群岛)、瑞典、芬兰及冰岛 8 个

北极国家, 其中, 油气勘探开发工作主要在俄罗斯、美国、加拿大、丹麦和挪威这 5 个北冰洋沿岸国家开展(图 1)。



P1—沃令盆地; P2—特伦德拉格台地; P3—斯瓦尔巴群岛; P4—斯皮尔伯格第三纪中央盆地; P5—西巴伦支海陆架边缘; P6—巴伦支海台地; P7—东巴伦支海盆地; P8—北喀拉盆地; P9—西北拉普捷夫海陆架盆地; P10—拉普捷夫海陆架盆地; P11—东西伯利亚海盆地; P12—维尔基茨盆地; P13—北楚科奇盆地; P14—南楚科奇-霍普盆地; P15—马更些三角洲盆地; P16—斯维尔德鲁普盆地; P17—巴芬湾盆地; P18—北格陵兰剪切边缘盆地; P19—东格陵兰盆地; R1—西西伯利亚盆地; R2—叶尼塞-哈坦加盆地; R3—济良卡盆地; R4—朗加海峡盆地; R5—育空地坪盆地; F1—梅津盆地; F2—季曼-伯朝拉盆地; F3—前新地岛盆地; F4—勒拿-维柳伊盆地; F5—阿拉斯加北坡盆地; C1—通古斯盆地; C2—勒拿-阿纳巴尔盆地; C3—西北加拿大内部台地盆地; C4—富兰克林盆地; C5—福克斯盆地; O1—美亚盆地; O2—欧亚盆地; O3—罗蒙诺索夫-马卡罗夫盆地; O4—扬马延盆地; 黑色代号为已发现油气田盆地; 灰色代号为尚未发现油气田盆地

图 1 北极地区沉积盆地及已发现油气田分布图(据张凯逊等^[9]改编)

Fig.1. Distribution of sedimentary basins and discovered oil and gas fields in the Arctic (modified from Zhang et al.^[9])

北极地区油气资源丰富, 主要分布在沿环北冰洋的边缘海及其毗邻的陆架区或者陆地发育的沉积盆地内, 但常年受海冰覆盖的恶劣环境和相关资源开发政策的影响, 北极地区油气勘探程度较低,

相当大面积地区是尚未进行勘探的地区。随着全球气候不断变暖, 北极航道和极地装备加快建设, 北极地区的油气勘探开发活动将会更加活跃, 有望成为世界油气资源开发的新兴基地^[19-20]。

2 北极地区油气地质条件

在漫长的地质历史时期内, 北极地区经历了古陆块之间多次分离、汇聚、增生和拼合过程, 形成了不同类型的沉积盆地, 发育不同的生储盖分布特征。

2.1 沉积盆地类型

北极地区沉积盆地发育的个数和边界有较多争议^[2,4,9-10], 综合 S&P Global, USGS 及其他最新研究成果, 本文认为北极地区至少发育 38 个含油气盆地(图 1)。这些盆地规模大小不等, 成因类型多样, 具有独特的地质演化历史。

国际上有关沉积盆地类型划分的方法最早来源于 Dickinson^[21], 后又被许多学者进行修改和更新^[22-23]。本文采用张凯逊等^[9]的分类方案, 将北极地区沉积盆地划分为裂谷盆地、被动大陆边缘盆地、克拉通盆地、前陆盆地和大洋盆地 5 种类型(图 1)。其中, 被动大陆边缘盆地包括巴伦支海台地、东巴伦支海盆地、马更些三角洲盆地、沃令盆地等 19 个, 主要分布于东欧、西西伯利亚古陆块及其褶皱山构架的接合部位, 是在大陆边缘经历了断陷、断拗过渡和拗陷 3 个阶段形成的, 通常面向大洋^[8]; 裂谷盆地包括西西伯利亚盆地、叶尼塞-哈坦加盆地等 5 个, 大多位于被动大陆边缘盆地靠陆一侧; 前陆盆地包括阿拉斯加北坡盆地、季曼-伯朝拉盆地等 5 个, 主要分布于古陆的碰撞周缘或古陆与地块的碰撞边缘, 是多期古陆拼合构造运动导致的结果; 克拉通盆地包括通古斯盆地、勒拿-阿纳巴尔盆地等 5 个, 发育于西伯利亚古陆块和劳亚古陆块内, 经热沉降发育而成, 以大面积的浅海-滨海相沉积为主^[15]; 大洋盆地包括美亚盆地、欧亚盆地、罗蒙诺索夫-马卡罗夫盆地和扬马延盆地 4 个, 主要发育于北冰洋和大西洋洋底, 据地震、重磁、少量邻近钻井资料推断其中有厚达 3 km 以上的泥质沉积物和碳酸盐岩层, 有机质十分丰富^[15]。

2.2 生储盖及其分布特征

油气资源的形成和富集取决于一系列成藏要素, 其中烃源岩条件、储集条件、盖层条件和圈闭条件是最关键的 4 个因素。

北极地区整体地层发育齐全, 从中新元古代—古近纪几乎所有时代的沉积层均可成为烃源岩, 具有分布范围广、发育时间长、岩石类型及有机

质丰度变化大等特点。受裂谷期影响, 烃源岩主要发育于中生界, 尤以侏罗系、白垩系的烃源岩最为发育, 大都为海相、湖相泥页岩, 局部发育煤层, 广泛分布于西西伯利亚、阿拉斯加北坡、东巴伦支海以及斯维尔德鲁普盆地等^[8]。其次, 烃源岩多发育于中-上古生界, 出露于季曼-伯朝拉、勒拿-阿纳巴尔、斯维尔德鲁普盆地等, 以海相碳酸盐岩为主, 有机质含量介于 0.5%~5%。古、新近系烃源岩仅出露于加拿大马更些三角洲盆地中, 以晚白垩世页岩和古近纪三角洲前缘页岩为主, 有机质含量介于 2%~10%^[24](图 2)。

与烃源岩特点类似, 储集层也具有分布范围广、跨越层系多的特点。古生界储层主要为碳酸盐岩, 以季曼-伯朝拉盆地最为发育, 其次分布于阿拉斯加北坡、斯维尔德鲁普、东巴伦支海盆地等, 其生物礁灰岩孔隙度为 10%~30%, 渗透率介于 $3.0 \times 10^{-1} \sim 10 \times 10^{-1} \mu\text{m}^2$ ^[24]。中生界储层主要为砂岩, 区内重要的含油气盆地如西西伯利亚、阿拉斯加北坡、斯维尔德鲁普、东巴伦支海等盆地中的储集层均形成于该时期, 储层物性明显优于古生界。新生界储层仅分布于马更些三角洲盆地中, 以 Aklak 和 Kugmallit 层组砂岩为主, 总厚度可以达到 1000 m^[8](图 2)。

北极地区几乎所有的含油气盆地盖层都以中生界页岩为主, 仅在西西伯利亚和季曼-伯朝拉盆地中存在一定量的沥青页岩和泥岩, 在挪威北部陆架盆地中还有少量碳酸盐岩^[15](图 2)。

油气藏圈闭类型较多, 目前已发现的油气田圈闭主要以与构造有关的复合圈闭为主, 其富集了北极地区超一半的油气探明和控制可采储量(2P 可采储量)。其次为构造圈闭, 以背斜圈闭和断层圈闭为主, 受各个盆地本身所发育的构造样式所控制。

3 北极地区及北极主要国家油气勘探开发历程

北极周边国家一直关注北极的油气资源, 目前北极地区的油气勘探开发工作主要在俄罗斯、美国、加拿大、挪威和丹麦开展, 并且各国已制定了未来的北极政策^[17-18,20]。根据最新的 S&P Global 数据, 本文分国别和海陆统计了北极地区

历年油气储量和产量数据,划分了北极地区油气勘探开发阶段,梳理了各国油气资源战略及开发

走向,为指导我国未来参与北极油气资源开发利用方向提供参考。

地质年代/Ma	阿拉斯加北坡盆地			斯维尔德鲁普盆地			叶尼塞-哈坦加盆地			东巴伦支海盆地			季曼-伯朝拉盆地			南喀拉-亚马尔盆地			马更些三角洲盆地		
	烃源岩	储层	盖层	烃源岩	储层	盖层	烃源岩	储层	盖层	烃源岩	储层	盖层	烃源岩	储层	盖层	烃源岩	储层	盖层	烃源岩	储层	盖层
上新世																					
20 晚																					
40 中																					
60 早																					
80 晚																					
100 早																					
120 早																					
140 早																					
160 晚																					
180 中																					
200 早																					
220 晚																					
240 中																					
260 早																					
280 中																					
300 早																					
320 晚																					
340 早																					
360 中																					
380 晚																					
400 早																					

图2 北极地区主要含油气盆地生储盖特征(据麻伟娇等^[8]和 S&P Global^[24]改编)

Fig.2. Source-reservoir-cap characteristics of Arctic petroliferous basins (modified from Ma et al.^[8] and S&P Global^[24])

3.1 北极地区

北极地区油气勘探开发自 20 世纪初期开始,可划分为早期调查(至 1963 年)、陆上大发现和早期开发(1964—1976 年)、海陆并进和快速上产(1977—1992 年)、勘探低迷和开发高位徘徊(1993 年至今)4 个阶段(图 3 和图 4)。

(1)早期调查阶段(至 1963 年)

1904 年,USGS 开始了北极地表研究,在 1917 年辛普森海峡地区发现油苗。1944—1952 年,美国海军在 USGS 的帮助下,在阿拉斯加北坡盆地执行了第一次重要的油气勘探项目^[15]。该阶段发现的油气田个数和储量都非常小,并且局限分布在俄罗斯的叶尼塞-哈坦加盆地和美国的阿拉斯加北坡盆地,前者以油为主,后者以气为主(图 3)。

(2)陆上大发现和早期开发阶段(1964—1976 年)

该阶段探井工作量增加,所发现的油气田,无论储量规模还是数量都有明显的增长,除在叶

尼塞-哈坦加盆地和阿拉斯加北坡盆地继续发现油气田外,在俄罗斯西西伯利亚盆地、季曼-伯朝拉盆地和加拿大马更些三角洲盆地也都发现了大量的油气田,且大多数油气田位于陆上地区。这一阶段发现的油气储量最多,特别是 1966 年,油气 2P 可采储量高达 99 亿吨油当量,主要归因于苏联著名的乌连戈伊气田、美国阿拉斯加北坡盆地的特大型普鲁德霍湾油田等一系列重大发现(图 3)。同时,该阶段俄罗斯梅索耶油田、塔佐夫斯基气田和美国普鲁德霍湾油田、塔佐夫斯基气田等陆续投入开发,油气产量缓慢上升(图 4)。

(3)海陆并进和快速上产阶段(1977—1992 年)

随着多个亿吨级油气田被发现,该阶段勘探工作量剧增,年均探井数量可达 153 口。俄罗斯、加拿大和美国发现油气田数量较多,但是储量规模不大,只在俄罗斯东巴伦支海盆地发现了巨型气田施托克曼诺夫。同时,挪威也开始了北极地区的油气勘探,但由于挪威的沉积盆地全部位于

海域, 勘探开发难度较大。这一阶段陆上油气储量增长主要局限在俄罗斯西西伯利亚盆地和季曼-伯朝拉盆地, 海域油气储量增长主要归功于加拿大马更些三角洲盆地和挪威巴伦支海台地

(图 3)。此外, 油气田开发速度和力度加大, 陆上油气田快速上产, 海域油气田逐步投入开发, 产量呈规模增长, 于 1991 年达到高峰产量, 约 4.67 亿吨油当量/天(图 4)。

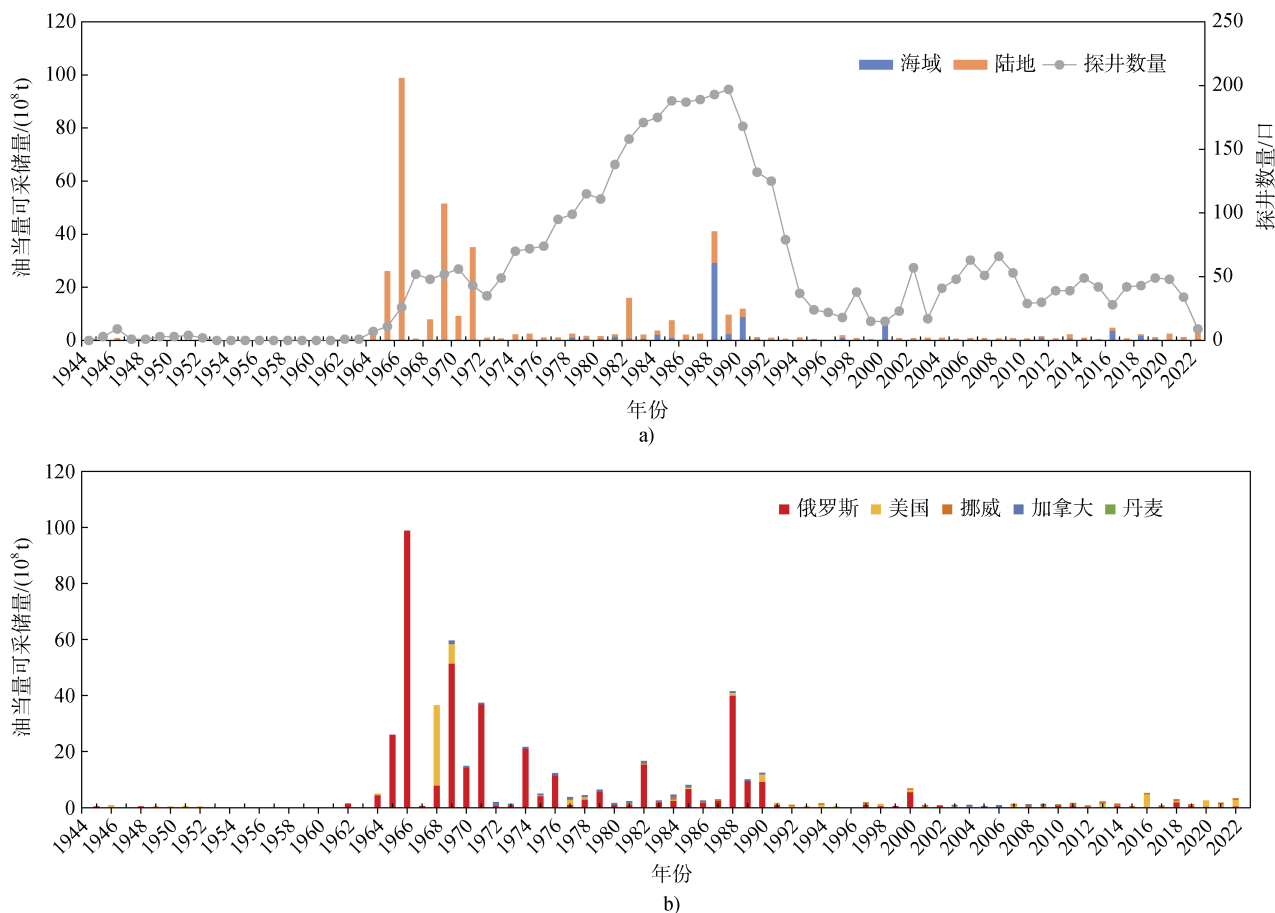


图 3 北极地区油气 2P 可采储量发现历程(数据来源于 S&P Global^[24])。a)按海陆统计; b)按国家统计

Fig.3. The exploration of oil and gas 2P recoverable reserves in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) counted by sea and land; b) counted by country

(4) 勘探低迷和开发高位徘徊阶段(1993 年至今)

自 1992 年以来, 苏联解体爆发经济危机, 由于勘探基金的崩溃, 地震和钻探工作量急剧下降, 油气田发现数量和储量规模都较小。阿拉斯加北坡盆地由于公开竞标, 钻探工作量前期有所提升, 但 2015 年以来, 随着北极政策改变, 美国进入“后石油时代”。油气钻探效果不理想叠加低油价, 导致美国勘探工作整体进入低迷阶段。但是在挪威海域, 特别是东巴伦支海和巴伦支台地盆地发现了一系列油气田, 成为海域油气新增储量的主要来源(图 3)。此外, 由于开发的滞后性, 该阶段

油气开发呈现出高位徘徊、小幅波动的特征, 并于 2021 年产量回升至 5.01 亿吨油当量/天(图 4), 累计产量主要集中在俄罗斯和美国, 分别占比 82%和 17%。但从长远来看, 北极地区的油气田开发项目或取消或延期, 预计油气田投入开发的步伐亦会减速。

3.2 俄罗斯

俄罗斯约 1/3 的领土在北极圈内, 是目前在环北极地区进行油气勘探投入工作量最大、取得成果最多的国家。俄罗斯对北极的诉求实质在于利用北极丰富的自然资源和特殊的地理位置赢得

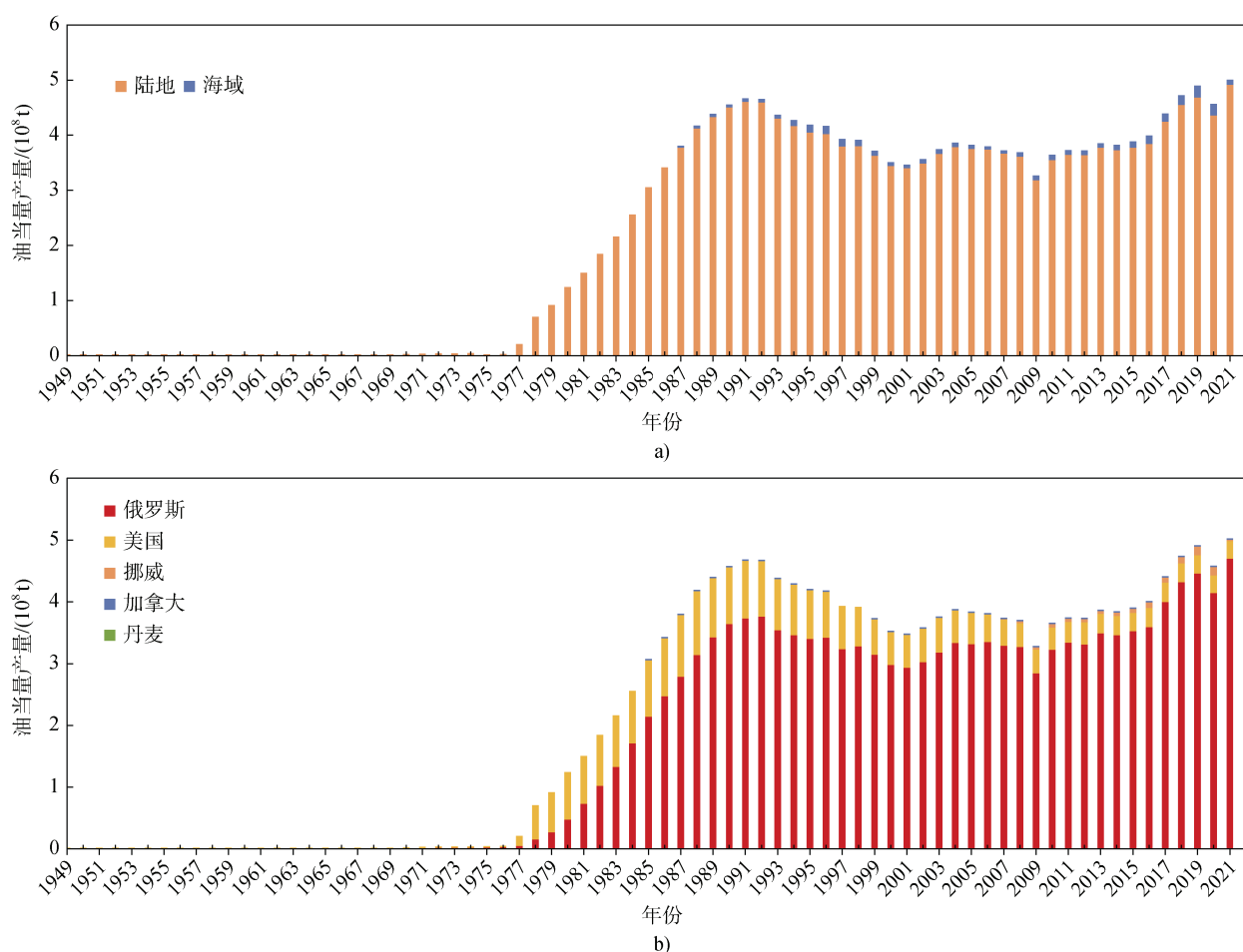


图4 北极地区油气产量开发历程(数据来源于 S&P Global^[24])。a)按海陆统计; b)按国家统计

Fig.4. The development of oil and gas production in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) counted by sea and land; b) counted by country

战略主导权, 确保大国地位^[25]。

北极地区油气勘探最早在季曼-伯朝拉盆地进行, 至 20 世纪 60 年代扩展到西西伯利亚盆地和叶尼塞-哈坦加盆地陆地区域, 开始发现油气田。1965 年, 在西西伯利亚盆地发现乌连戈伊大气田, 储量增长第一次达到高峰。80 年代, 前苏联开始在东北冰洋大陆架进行勘查和钻探, 在伯朝拉海、东巴伦支海和南喀拉海等海域内发现众多海上油气田, 其中 1988 年在东巴伦支海盆地发现施托克曼诺夫大气田, 储量增长第二次达到高峰。自 1991 年底苏联解体以来, 勘探工作量急剧下降, 虽陆续有稳定的油气田发现, 但油气田发现个数和储量规模都较小(图 3)。俄罗斯第一个气田 Messoyakhskoye 于 1969 年开始生产, 随后开发的巨型气田如乌连戈伊、扬堡、梅德韦日耶、

扎波利亚诺耶、博瓦年科沃、哈拉萨韦、鲁萨诺夫等保证了较长时间内稳定的天然气开采量。在这些气田产量下降后, 扎波利亚诺耶(2001 年)、尤尔哈罗夫(2003 年)、南俄罗斯(2007 年)和博瓦年科沃(2012 年)气田弥补了俄罗斯天然气的产量^[17]。截至 2022 年底, 俄罗斯北极地区累计发现 276 个油气田, 获油气 2P 可采储量 396 亿吨油当量, 其中累计投产开发 145 个油气田, 获油气产量高达 133 亿吨油当量(图 3 和图 4), 主要集中在亚马尔-涅涅茨自治区和克拉斯诺亚尔斯克边疆。

俄罗斯一直积极主导北极油气国际合作战略, 强调与北极国家及域外行为体间的全面合作, 与美欧、印度、中国等达成合作项目。但随着美国“杜鲁门”号航母驶入北极海域, 北约及芬兰与瑞典在北极圈内举行大规模“寒冷反应”军事演习

以及俄乌冲突爆发, 北极面临着军事对峙加剧、暗流涌动的新局面^[26]。面对北极理事会其他 7 个成员国联合对俄抗议和国际油气贸易加速“去俄罗斯化”, 俄罗斯力图构建北极地区安全机制, 通过武力配合司法手段, 保护在北极的既得利益。此外, 俄罗斯坚持加大北极油气能源开发的效能拓展, 并且将合作转向东方, 寻求来自亚太地区的资金、技术和市场合作, 以期适应能源政治、安全和市场博弈新态势^[26]。

3.3 美国

北极圈内的阿拉斯加是美国最大的油气资源战略储备中心, 但近年来由于美国北极政策变动, 北极地区投入的各类资源较少, 导致目前基础设施建设和管理能力等多方面都相对落后^[27]。

早在 20 世纪 40 年代, 美国陆续发现陆上油气田, 60 年代在阿拉斯加北坡盆地先后发现了陆上特大型普拉德霍湾油田和库帕鲁克河油田, 储量增长达到高峰; 70 年代至今, 虽持续有油气田发现, 但储量增加缓慢(图 3)。阿拉斯加北坡盆地油气产量自 70 年代快速增长, 80 年代油气产量大幅增加, 普拉德霍湾地区日产原油量曾高达每日 200 万桶(27.4 万吨), 所生产的原油约占当时美国原油总产量的 1/4^[17]; 90 年代后该地区原油产量开始下滑, 现今普拉德霍湾油田及其周边小油田日产量还不足 50 万桶(6.9 万吨)油当量, 3/4 的输油管道处于空置状态。特别是 2015 年以来, 美国政府禁止北极海域的油气勘探, 使得许多北极项目无限期停滞。2020 年受新冠肺炎影响, 美国大幅消减油气开支, 许多投资商表示不再为新的北极石油勘探生产提供资金^[17]。截至 2022 年底, 美国北极地区累计发现 276 个油气田, 获油气 2P 可采储量 62 亿吨油当量, 其中投产开发油气田 30 个, 获油气产量 28 亿吨油当量(图 3 和图 4)。

受政府换届影响, 美国的北极政策变动较为频繁, 对北极油气开发的态度一直摇摆不定。拜登政府于 2022 年 10 月 7 日颁布全新《北极地区国家战略》报告, 围绕安全、气候变化与环境保护、可持续发展和国际合作四大支柱, 规划了未来 10 年的北极议程^[14], 无疑会对今后北极地缘政治、治理格局产生深远影响。

3.4 加拿大

作为北极地区领土面积第二大的国家, 加拿

大的北极油气资源主要分布在波弗特海的北极大陆架, 但受低油价、开发技术、运行周期和政策等多方面因素的影响, 油气勘探开发工作始终进展缓慢。

加拿大的油气勘探始于西南部的西加拿大盆地, 并在 20 世纪 20 年代沿着马更些河谷的内部地台地区进行了早期的油气勘探^[15]。自 1969 年以来, 加拿大在斯维尔德鲁普盆地和马更些三角洲盆地陆地部分积极进行油气地质勘探工作, 陆续发现一些油气田, 但储量和产量都不甚理想; 90 年代之后, 由于环境考虑和储量低等原因, 钻井工作被迫暂停; 21 世纪初期进行了小规模勘探, 但由于国际油价下跌及供需平衡, 加拿大北极地区陆上和海上油气勘探迟滞不前(图 3)。2016 年, 加拿大北极地区主要运营商加拿大帝国石油(Imperial Oil)公司和英国石油(BP)公司宣布将无限期暂停在波弗特海的开发。同时, 加拿大政府暂停签发新的北极地区海上石油勘探许可证, 使得加拿大北极地区的油气钻探活动几乎全部停止^[17]。截至 2022 年底, 加拿大北极地区累计发现 85 个油气田, 获油气 2P 可采储量 9 亿吨油当量, 其中累计投产开发 2 个油气田, 获油气产量 58 万吨油当量(图 3 和图 4)。

加拿大没有专门的北极油气合作的战略文件, 但其北极区域“多管齐下”的国家安全政策, 体现出了加拿大“中等国家”定位、国家安全观转变以及可持续发展理念^[28]。在如今地缘政治的结构性矛盾日趋放大的局势下, 加拿大寻求建立综合性国际机制的多边主义政策倾向, 实施谨慎且低调的油气资源合作勘查战略。

3.5 挪威

尽管挪威在北极拥有的海域面积有限, 但挪威对北极油气资源开发保持高度积极性, 在巴伦支海盆地的油气勘探开发进展非常顺利, 形成了先进的海上油气开发技术和完善的产业链。

挪威巴伦支海和挪威海的油气勘探始于 20 世纪 70 年代, 80 年代开始发现油气田, 且以海域气田为主。但受环境和技术装备制约, 巴伦支海域的油气勘探成功率较低, 只获得了格利阿特油田和斯诺维特油气田这两个重大发现(图 3); 2007 年之后, 随着海上油气田勘探开发技术提高, 探井工作量明显增加, 白雪公主气田开始投产; 2010 年,

解决了与俄罗斯的海上分界争端后,挪威北极地区油气勘探开发顺利开展,产量逐年上升。近几年,挪威油气勘探重心从传统的北海地区向北转移,全球各大油气公司如挪威国家石油公司、美国石油巨头埃克森美孚、意大利埃尼集团等对巴伦支海域开始进行积极的地震和钻井工作。戈利亚特油田、约翰卡斯特伯格油田、维斯廷油田开发逐步实现。截至2022年底,挪威北极地区累计发现74个油气田,获油气2P可采储量7亿吨油当量,其中累计投产开发3个油气田,获油气产量1.2亿吨油当量(图3和图4)。

21世纪以来,挪威政府先后在2005年、2006年和2009年发布了3份北极战略文件,是北极国家中战略更新最为及时的国家^[29]。挪威经济深受油气行业影响,为拓展产业发展,挪威政府及其国家石油公司格外重视北极地区,奉行积极、多边的油气合作战略,对北极地区进行系统地战略布局,逐步提升海上油气勘探开发科研实力^[30]。在并不乐观的国际形势下,挪威以企业为主导的油气勘探开发合作取得了一定进展,但以石油工业为支柱产业的挪威同样面临油气资源国挑战。

3.6 丹麦(格陵兰)

格陵兰已于2009年宣布自治,虽然外交和国防权利仍然属于丹麦,但是矿产资源勘探开发的权利已由格陵兰自治政府接管^[15]。格陵兰的油气勘探始于20世纪70年代,主要进行了包括重力、磁法和少量地震勘探在内的区域地球物理研究以及部分露头区的研究。现有资料表示格陵兰大陆架可能蕴含极为丰富的石油资源,随着冰层融化

速度加快,格陵兰政府正在采取积极的态度和政策吸引国外资金参与油气资源勘查与开发,已有多区块进行“招拍挂”^[24]。但由于资金和技术的限制,目前格陵兰在北极地区共1口钻探井(海域),仅于2010年发现巴芬湾T8-1海上气田,油气2P可采储量7万吨油当量,尚无产量数据(图3和图4)。

4 油气分布特征及资源潜力评价

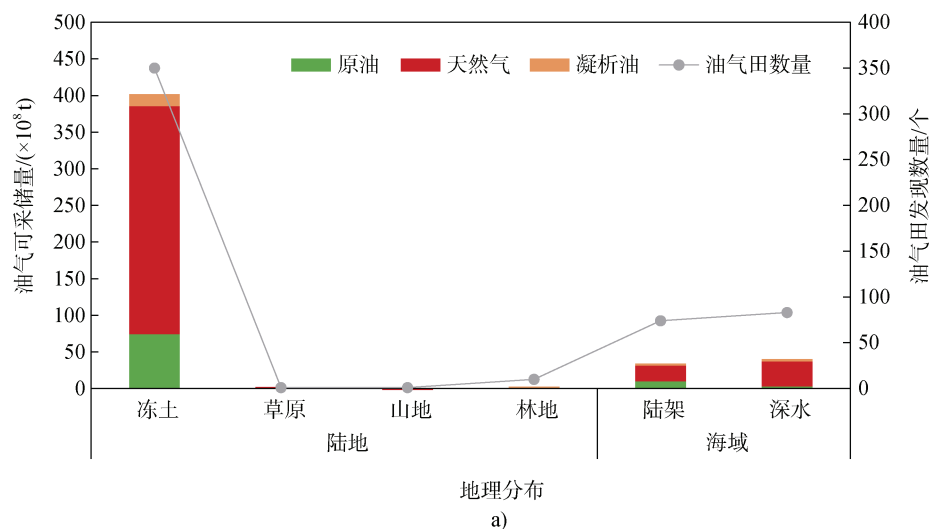
北极地区累计发现519个油气田,分布在16个沉积盆地中(图1)。其中,陆地油气田共362个,占比70%,以俄罗斯冻土地区为主;海域油气田157个,占比30%,以挪威陆架和深水为主(图5a)。北极地区油气田主要分布在俄罗斯西西伯利亚、季曼-伯朝拉盆地,美国阿拉斯加北坡盆地,加拿大马更些三角洲盆地,挪威巴伦支海台地,其中季曼-伯朝拉盆地和阿拉斯加北坡盆地以油田为主,其余3个盆地以气田为主(图1)。

4.1 已发现油气可采储量分布特征

北极地区累计发现油气2P可采储量 474×10^8 t油当量,其中原油 87.3×10^8 t,天然气 46.1×10^{12} m³,凝析油 17.4×10^8 t,天然气2P可采储量是石油的3.5倍,北极是以气为主的油气区。

4.1.1 地理分布特征

按照我国海上油气田储量规模分类标准划分^[31],北极地区已发现的519个油气田中,特大型油(气)田和大型油(气)田有114个,仅占油气田总个数的22%,但其富集的油气2P可采储量占



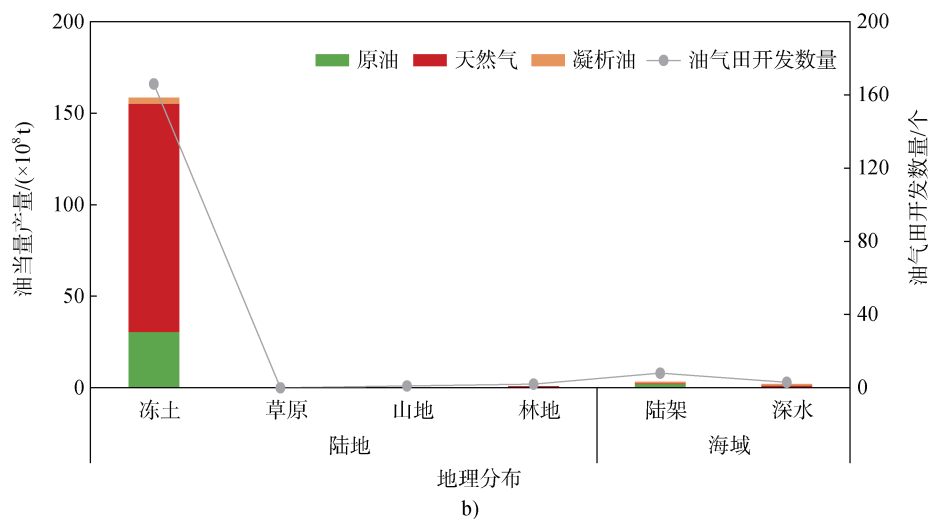


图 5 北极地区油气田数量、2P 可采储量和累计产量海陆分布特征(数据来源 S&P Global^[24])。a) 油气 2P 可采储量和油气田发现数量; b) 油气累计产量和油气田开发数量

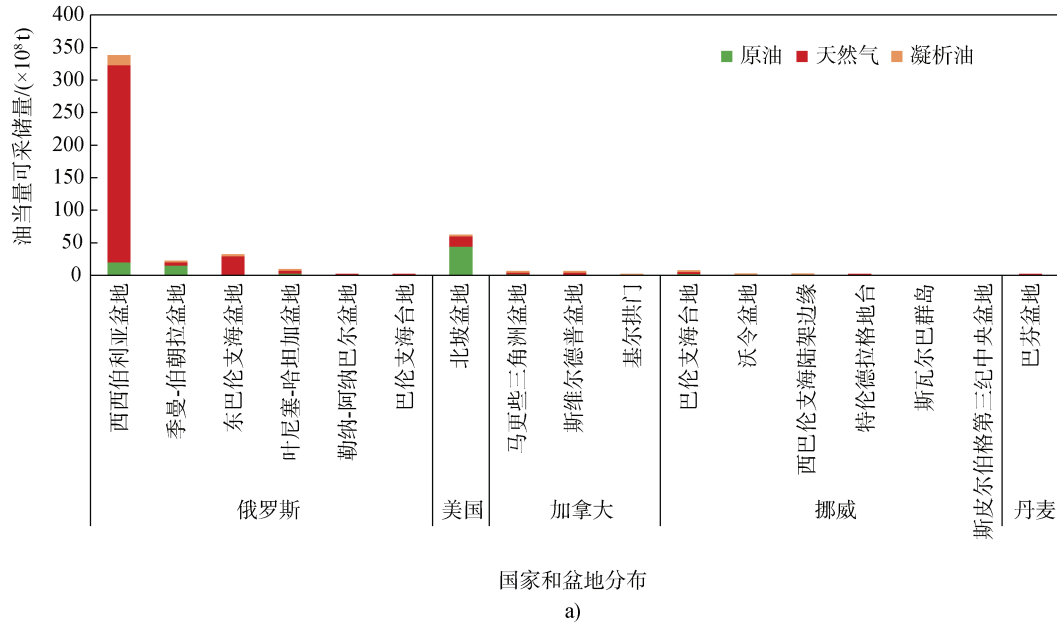
Fig.5. Sea-land distribution of the number of oil and gas fields, 2P recoverable reserves and cumulative production in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) oil and gas 2P recoverable reserves and number of discovered oil and gas fields; b) oil and gas cumulative production and number of developed oil and gas fields

北极油气总 2P 可采储量的 96%。这些大油气田主要分布于俄罗斯西西伯利亚盆地、东巴伦支海盆地和季曼伯朝拉盆地以及美国阿拉斯加北坡盆地(图 6a)。具体来说,石油(包括原油和凝析油)主要集中于美国阿拉斯加北坡盆地,占比 43%;天然气分布较石油分布更不均匀,主要集中于俄罗斯,占比高达 93%(图 7)。此外,由于北极地区极端的天气状况和海上油气勘探开发装备限制,

油气 2P 可采储量海陆分布十分不均衡,陆地油气 2P 可采储量 404×10^8 t, 占总 2P 可采储量的 85%, 而海域油气 2P 可采储量少于陆地的 1/5。

4.1.2 层位分布特征

北极地区含油气盆地储层发育层系多,从寒武系到新近系均有分布。时代上,89%的已发现油气 2P 可采储量储存于中生界储层中,其次为上古生界(9.42%)和古近系(1.08%)(图 8a)。若按系为



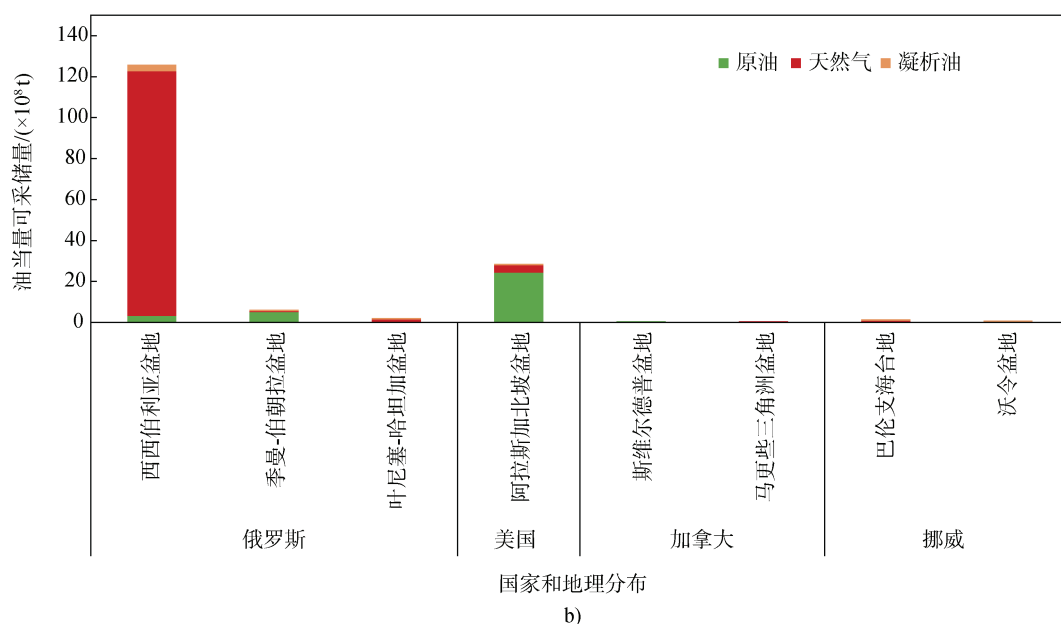


图 6 北极地区油气 2P 可采储量和累计产量盆地分布特征(数据来源 S&P Global^[24])。a)油气 2P 可采储量; b)油气累计产量

Fig.6. Basin distribution of 2P recoverable reserves and cumulative production in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) oil and gas 2P recoverable reserves; b) oil and gas cumulative production

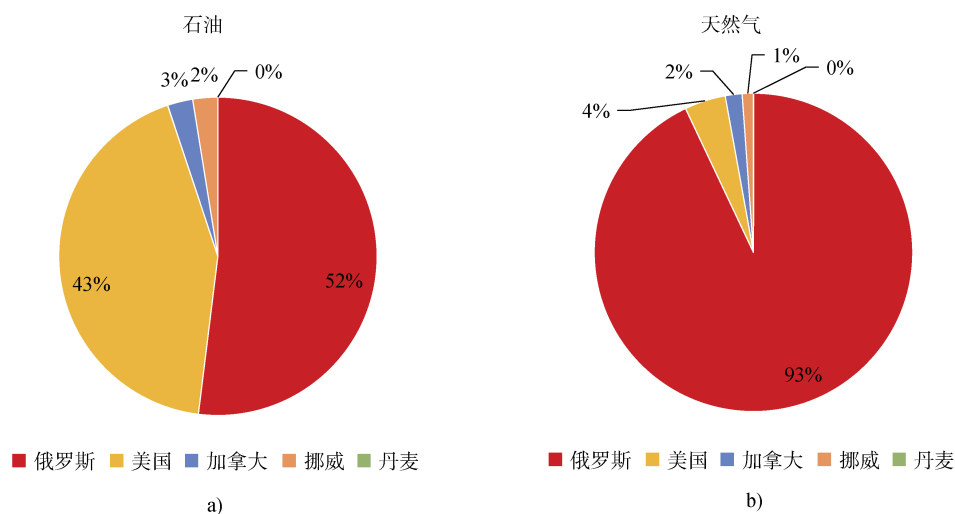


图 7 北极地区油气 2P 可采储量国家分布特征(数据来源于 S&P Global^[24])。a)石油; b)天然气

Fig.7. Country distribution of 2P recoverable reserves in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) oil ; b) gas

统计单元, 白垩系、侏罗系是最重要的储集层系, 油气 2P 可采储量分别为 $365 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $49 \times 10^8 \text{ t}$, 两者占比超过油气总储量的 85%。岩性上, 北极地区油气 2P 可采储量的 96.5% 储集于碎屑岩储层中, 大多分布于中-新生界, 其余的 3.5% 储集于海相碳酸盐岩储层(图 8b), 主要分布在古生界中。

不同国家储层层系分布规律差异较大, 俄罗

斯北极盆地油气 2P 可采储量的 85% 集中在白垩系, 55% 挪威的油气 2P 可采储量分布于侏罗系。美国储集层以白垩系和二叠系为主, 分别占其北极油气总 2P 可采储量的 46% 和 43%。古近系和侏罗系是加拿大最重要的两套储集层, 合计占加拿大北极油气总 2P 可采储量的 80% 以上, 并且拥有独特的新生界储层(图 9)。

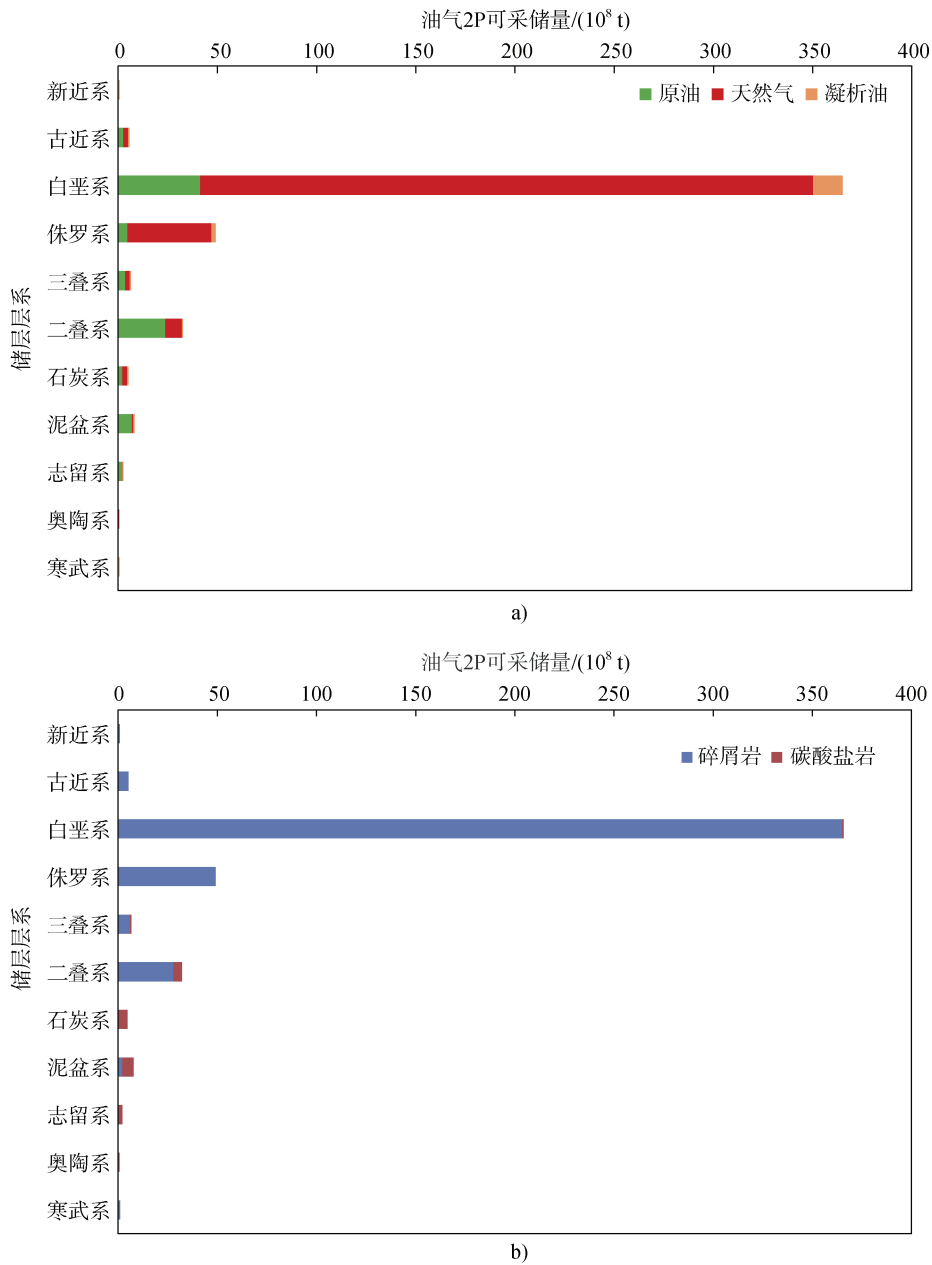


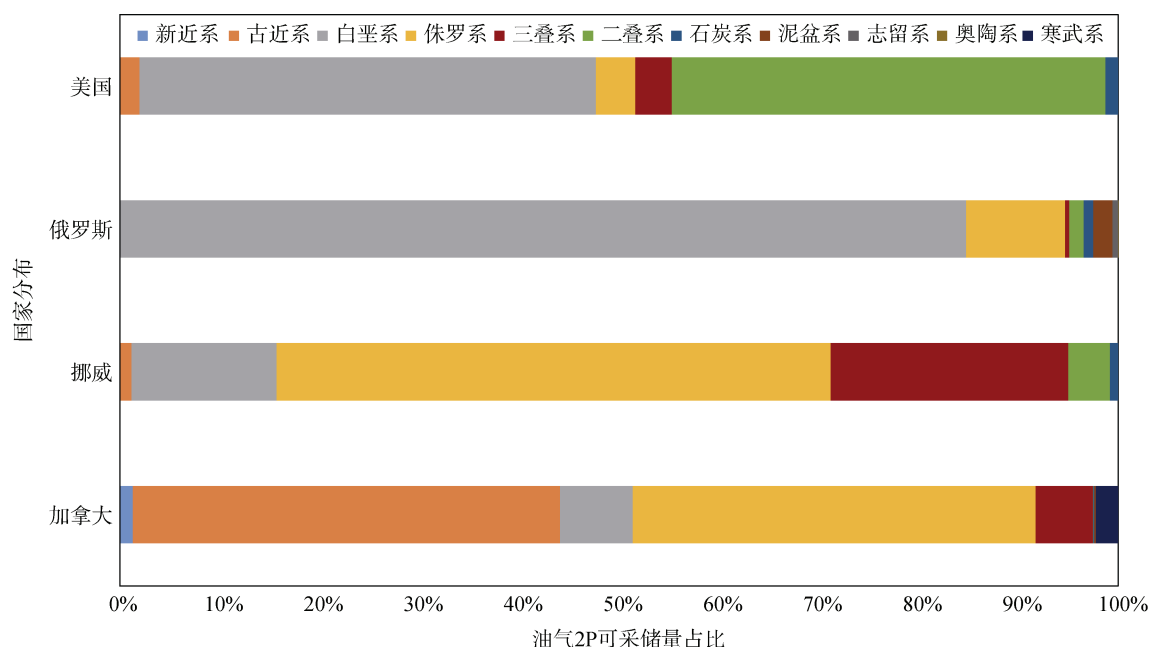
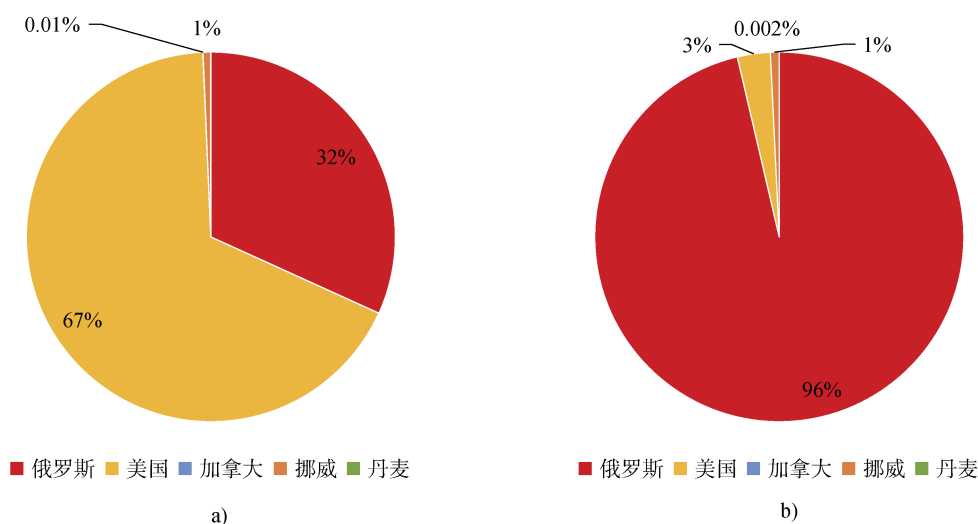
图 8 北极地区不同层系油气 2P 可采储量和岩性分布特征(数据来源于 S&P Global^[24])。a)油气构成; b)岩性

Fig.8. Oil and gas 2P recoverable reserves and lithology distribution of different strata in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) hydrocarbon composition; b) lithology

4.2 油气累计产量分布特征

北极地区共 180 个油气田已投产开发, 累计产出原油 32.8×10^8 t, 天然气 15.8×10^{12} m³, 凝析油 3.3×10^8 t, 合计 162 亿吨油当量(图 5b)。油气累计产量分布特征与储量分布特征类似, 主要集中在俄罗斯西西伯利亚盆地(77.5%)、季曼-伯朝拉盆地(3.46%)、叶尼塞-哈坦加盆地(0.96%)和美

国阿拉斯加北坡盆地(17.3%), 合计占总产量比例高达 99.2%。具体来说, 石油(包括原油和凝析油)累计产量主要集中于美国阿拉斯加北坡盆地(67.5%), 其次分布于俄罗斯西西伯利亚盆地(17.5%)和季曼-伯朝拉盆地(14.1%)(图 10a); 天然气累计产量以俄罗斯(96%)独占鳌头, 美国北坡盆地仅占比 3%(图 10b)。若按海陆区域划分, 陆

图 9 北极地区主要含油气国家不同层系油气 2P 可采储量分布特征(数据来源于 S&P Global^[24])Fig.9. Oil and gas 2P recoverable reserves of different strata in major countries around the Arctic (data from S&P Global^[24])图 10 北极地区油气累计产量国家分布特征(数据来源于 S&P Global^[24])。a)石油; b)天然气Fig.10. Country distribution of oil and gas cumulative production in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) oil; b) gas

地油气累计产量 158 亿吨油当量, 海域 3.7 亿吨油当量, 陆地是海域的 43 倍, 这也从侧面反映出相比陆上油气田, 海上油气田开发难度呈几何倍数增加, 所需油气田开发技术、生产设备和作业装备要求更高。

4.3 油气资源潜力评价和资源量分布特征

加利福尼亚大学能源与资源学院于 2004 年

首次对北极地区的天然气储量进行了估算, 认为北极地区待发现油气资源量占全球待发现资源总量的 28%。时隔 4 年, USGS 首次公布了北极圈内 25 个盆地/构造单元待发现资源量: 原油 899.8×10^8 bbl, 天然气 1668.7 Tcf, 天然气液 440.6×10^8 bbl, 合计 4121.6×10^8 bbl (562.3×10^8 t) 油当量^[32]。“十一五”和“十二五”期间, 中石油开展

了全球油气资源评价工作,对北极地区的 11 个主要含油气盆地进行了估算,北极地区待发现油气资源量分别为 $519.6 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $516.8 \times 10^8 \text{ t}$, 是 USGS 评估结果的 90% 左右^[33]。近 15 年,北极地区已发现油气 2P 可采储量增长了约 $22 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,但是仅有个别盆地/地区进行了新的油气资源评价^[34-37]。考虑到不同研究机构资评数据资料均比较陈旧,北极地区系统性油气资源潜力仍需进一步评估。

本文以已发现油气田成藏组合为核心,依据盆地不同勘探程度,选用统计法如规模概率分布模型法、规模序列法和勘探趋势外推法和类比法对北极圈内 9 个主要含油气盆地进行了待发现资源量估算;针对尚无油气发现的评价单元,参考 USGS(2008)资源量评价结果^[32]。

经评价,北极地区原地资源量 1632.97 亿吨油当量,其中已发现 2P 可采储量 473.99 亿吨油当量(石油 $104.65 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气 $46.13 \times 10^{12} \text{ m}^3$),待发现资源量 1158.99 亿吨油当量(石油 $400.31 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气 $95.21 \times 10^{12} \text{ m}^3$)(表 1)。该评价结果比 USGS(2008)评估结果^[32]大了 1 倍,可能是由于已发现油气田数量和储量增加,加之对远景认识程度的不同,导致在评价参数选取上较为乐观,但与 Egorov 等^[36]对俄罗斯北极地区预测资源量数量级一致,且充分考虑了盆地油气勘探新进展,表明结果具有一定合理性。具体来说,待

发现石油主要集中于美国(57%)、俄罗斯(26%)和丹麦(7%),三者占石油总量的 90%(图 11a);待发现天然气主要集中于俄罗斯(80%)和美国(10%),两者占天然气总量的 90%(图 11b)。若按海陆区域划分,约有 64% 的待发现油气资源集中在海域,其中美国、加拿大、挪威和丹麦油气资源海域部分均超其总量的 70%,俄罗斯海陆资源相对平均(图 12),海域仍是未来重要的勘探领域。

5 我国参与北极油气资源开发利用前景展望

北极地区现有油气资源主要分布在北冰洋周边陆架及毗邻的陆地盆地中,表现出极端的地域性分布特征。从剩余可采储量来看,北极地区已发现石油剩余可采储量高达 68 亿吨油当量,其中俄罗斯为 43 亿吨油当量,美国阿拉斯加为 20 亿吨油当量,两地区合计占比高达 93%。天然气更是几乎为俄罗斯所独有,北极地区已发现天然气剩余可采储量高达 242 亿吨油当量,其中俄罗斯为 220 亿吨油当量,占比高达 91%。从油气资源与盆地的关系来看,原油储量主要发育在阿拉斯加北坡盆地、蒂曼-伯朝拉盆地和西西伯利亚盆地中,而天然气几乎全部分布在西西伯利亚盆地中。根据矿产资源的成群成带分布特性^[38],认为在可预见的将来,北极地区油气资源的战略勘查和未来投资开发无疑仍将集中在已有油气资源大规模集中区。

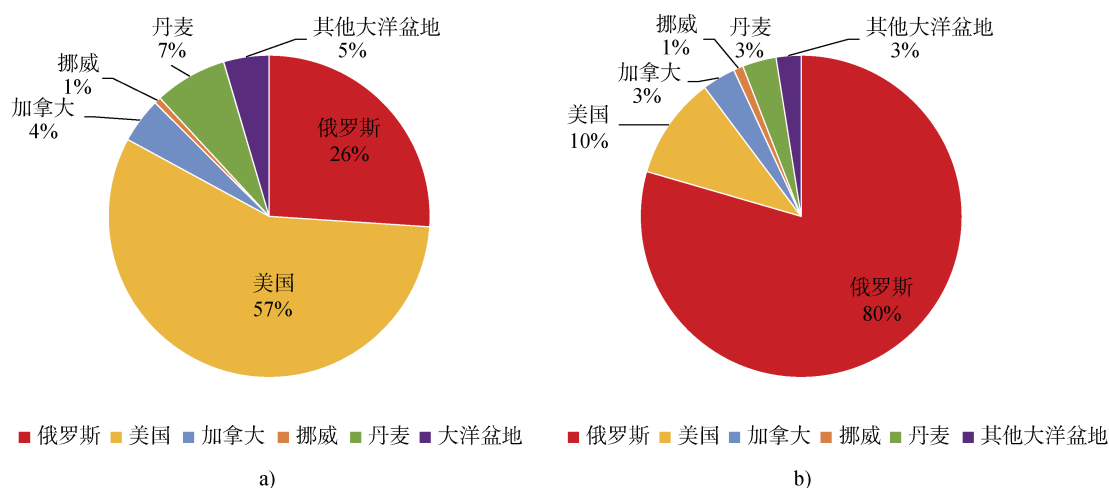


图 11 北极地区待发现油气资源分布特征(数据来源于 S&P Global^[24])。a)石油; b)天然气

Fig.11. Distribution of undiscovered oil and gas resources in the Arctic (data from S&P Global^[24]). a) oil; b) gas

表 1 北极地区评价单元已发现 2P 可采储量、待发现资源量和原地资源量统计表

Table 1. The discovered 2P recoverable reserves, undiscovered resources and in place oil and gas resources of assessment units in the Arctic

评价单元	已发现2P可采储量			待发现资源量			原地资源量		
	石油/ ($\times 10^8$ t)	天然气/ ($\times 10^8$ m ³)	合计/ ($\times 10^8$ t)	石油/ ($\times 10^8$ t)	天然气/ ($\times 10^8$ m ³)	合计/ ($\times 10^8$ t)	石油/ ($\times 10^8$ t)	天然气/ ($\times 10^8$ m ³)	合计/ ($\times 10^8$ t)
西西伯利亚盆地	35.44	380290.10	338.45	38.11	408929.20	363.95	73.55	789219.30	702.40
阿拉斯加北坡盆地	44.92	19251.70	61.87	227.60	97551.15	305.33	272.52	116802.85	367.20
东巴伦支海盆地	0.62	37009.95	30.12	4.32	257977.80	209.88	4.94	294987.75	240.00
叶尼塞-哈坦加盆地	2.77	5647.50	7.26	17.89	36482.85	46.96	20.66	42130.35	54.22
巴伦支海台地	2.61	3852.85	5.80	19.48	28764.60	42.40	22.09	32617.45	48.20
季曼-伯朝拉盆地	15.53	5948.70	20.28	14.34	5496.90	18.72	29.87	11445.60	39.00
斯维尔德普盆地	0.79	4467.80	4.35	0.84	4769.00	4.64	1.63	9236.80	8.99
勒纳-安纳巴盆地	0.02	0.00	0.03	0.04	0.00	0.04	0.06	12.55	0.07
西北加拿大 内陆盆地	1.89	3401.05	4.61	9.70	17444.50	23.60	11.59	20845.55	28.21
*挪威陆架边缘	0.05	1468.35	1.22	2.65	9211.70	9.99	2.70	10680.05	11.21
*西格陵兰-东加拿大	0	0.85	0.00068	11.50	14783.90	23.28	11.50	14783.90	23.28
*东格陵兰裂谷 盆地				23.22	24598.00	42.82	23.22	24598.00	42.82
*美亚盆地				14.00	16239.70	26.94	14.00	16239.70	26.94
*拉普帖夫海陆架				5.43	9287.00	12.83	5.43	9287.00	12.83
*欧亚盆地				2.54	5559.65	6.97	2.54	5559.65	6.97
*北卡拉盆地和 台地				3.00	4267.00	6.40	3.00	4267.00	6.40
*北格陵兰剪切带				2.21	2911.60	4.53	2.21	2911.60	4.53
*罗蒙诺索夫-马卡 罗夫				1.77	2045.65	3.40	1.77	2045.65	3.40
*北楚科奇-弗兰格尔 前陆盆地				0.26	1731.90	1.64	0.26	1731.90	1.64
*维尔基特斯基 盆地				0.27	1644.05	1.58	0.27	1644.05	1.58
*西北拉普帖夫海陆 架盆地				0.40	1280.10	1.42	0.40	1280.10	1.42
*勒纳-维柳伊盆地				0.56	376.50	0.86	0.56	376.50	0.86
*济良卡盆地				0.12	426.70	0.46	0.12	426.70	0.46
*东西伯利亚海 盆地				0.04	175.70	0.18	0.04	175.70	0.18
*霍普盆地				0.02	188.25	0.1	0.02	188.25	0.17
总计	104.65	461338.85	473.99	400.31	952143.40	1158.99	504.96	1413481.40	1632.97

注: 带*数据来源于 USGS^[32]。

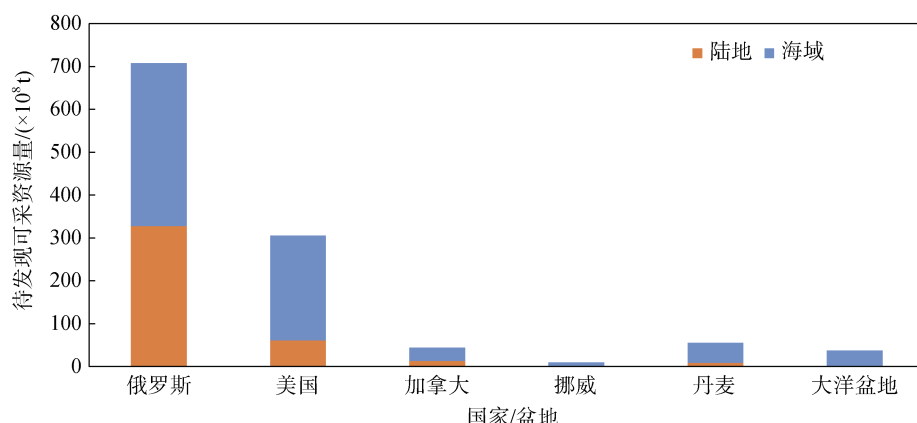


图 12 北极地区待发现资源量国家海陆分布特征(数据来源于 S&P Global^[24])

Fig.12. Sea-land distribution of undiscovered oil and gas resources in the Arctic (data from S&P Global^[24])

此外，北极主要国家对于北极油气开发有着各自的定位和目标，在北极的利益诉求并不完全一致，各国分别制定了适合本国的北极合作战略^[39]。美国政府由于政党交替对北极油气资源开发的态度一直摇摆不定，“重返北极”在经济和技术方面都存在较大难题；加拿大更注重北极地区主权和环境保护，近年来油气勘探活动几乎全部停滞；挪威积极主导对北极油气资源的勘探开发，但中挪关系正常化以来，能源合作目前只停留在油气买卖层面上，合作基础薄弱。

俄罗斯一直以来重视北极能源开发，近年来出台的《俄联邦对外政策构想》(2016年12月)、《2035年前俄罗斯北极地区发展战略》(2020年)、《俄联邦国家安全战略》(2021年7月)等政策文件，均把北极能源放在了重要位置，并希望通过国际能源合作来带动偏远地区的发展，尤其是公路和铁路建设、北极航道港口等基础设施的建设和发展^[13]。并且，中俄能源合作基础良好，自2013年“一带一路”倡议提出，两国能源合作一直在加快推进，先后启动了中俄原油管道、亚马尔液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)项目、帕亚哈油田、北极 LNG2 项目等，其中亚马尔项目被称为“北极地区国际能源合作的典范”。目前，受俄乌冲突的影响，西方石油公司纷纷退出俄罗斯能源市场，俄罗斯目前亟需技术、资金和市场的支持。并且，俄罗斯出口欧洲天然气管道被封堵、北溪管道被破坏，俄罗斯迫切需要寻找新的市场出售天然气^[40]。在此背景上，中俄在北极天然气勘探

开发领域可以开展更深入的合作，对内、对外两手抓。

1. 对内，立足长远，做好北极地区中长期合作目标与勘探开发技术超前准备。北极地区自然条件恶劣，社会和基础设施薄弱，给合作带来了极大的挑战，但其巨大的资源潜力更是给油气合作提供了良好的机遇。一方面，我国应该积极与俄罗斯顶层开展对话交流，以设立国家科技重大专项课题等方式加大对北极地区伯朝拉海域、拉普捷夫-东西伯利亚-楚科奇海域、远东海域、巴伦支海盆地和南喀拉陆架等低勘探程度地区的基础地质研究和海域风险勘探动态跟踪，超前优选目标区块，寻找机会进行合作；另一方面，借鉴学习先进勘探开发经验，发挥新型举国体制技术创新优势，推进高新技术国产化研究和应用，培育企业核心竞争力，提升极地项目获取、运营能力。

2. 对外，积极布局，在夯实管道天然气建设进程的基础上，拓展 LNG 和北极航道基础设施建设合作领域。俄罗斯的管道进口天然气是我国天然气进口安全的根基，没有邻国进口管道做“压舱石”和储备库无法应对能源危机安全。北极资源开发成本高、周期长，不确定性大，而管道运输能力强、成本低、供给目标明确。因此，我国和俄罗斯的能源合作应仍以管道气为首选，加速推进中线(俄罗斯—蒙古—中国)、远东线(俄罗斯符拉迪沃斯托克—中国)建设进程，加快俄油气管道东流。此外，LNG 以其操作灵活、调配方便、

接收站建设周期短等优势逐渐发展, BP^[41]预测, 到 2035 年世界 LNG 将和管道天然气平分秋色。俄罗斯极地 LNG 开发已拉开序幕, 目前俄罗斯在产和规划的 LNG 项目有 22 个, 我国应基于亚马尔项目合作模式, 积极参与俄罗斯 LNG 上游项目开发。同时, 密切关注北极航道基础设施投入项目, 吸收“诺瓦泰克”合作模式成功经验, 找准极地项目切入点和有利时机, 逐步延伸极地资源开发和航道运输的对接链条。

6 结论

1. 北极地区油气勘探开发自 20 世纪初期开始, 可划分为早期调查(至 1963 年)、陆上大发现和早期开发(1964—1976 年)、海陆并进和快速上产(1977—1992 年)和勘探低迷和开发高位徘徊(1993 至今)4 个阶段, 主要由俄罗斯、美国、加拿大、挪威和丹麦五国实施, 并且各国已制定了未来的北极政策, 对北极油气资源开发的态度存在明显差异。

2. 北极地区已发现 519 个油气田, 2P 可采储量合计 474×10^8 t 油当量, 其中 180 个油气田已投产开发, 累计产出油气合计 162 亿吨油当量。北

极地区已发现油气 2P 可采储量和累计产量主要分布于西西伯利亚盆地和阿拉斯加北坡盆地, 呈现 4 个显著特征: 一是油气构成不均, 天然气 2P 可采储量和累计产量占比均为 78%; 二是国别分布不均, 俄罗斯和美国合计 2P 可采储量和累计产量占比分别为 97%和 99%; 三是海陆分布不均, 陆地 2P 可采储量和累计产量占比分别为 85%和 98%; 四是发育层系不均, 白垩系、侏罗系碎屑岩储层 2P 可采储量占比超过 85%。

3. 北极地区油气待发现资源量高达 1159 亿吨油当量, 表现出 3 个显著特征: 一是油气构成不均, 天然气待发现资源量占比 65%; 二是国别分布不均, 俄罗斯(61%)和美国(26%)待发现资源量占比 87%; 三是海陆分布不均, 海域待发现资源量占比 64%。

4. 在美欧联手推动对俄孤立政策, 俄罗斯目前亟需技术、资金和市场支持的背景下, 建议积极开展与俄罗斯天然气勘探开发合作, 对内、对外两手抓。对内, 立足长远, 做好北极地区中长期合作目标与勘探开发技术超前准备。对外, 积极布局, 在夯实管道天然气建设进程的基础上, 拓展 LNG 和北极航道基础设施建设合作领域。

参考文献

- 1 余国, 陆如泉. 2022 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社, 2023.
- 2 GRANTZ A, SCOTT R A, DRACHEV S S, et al. Chapter 2 Sedimentary successions of the Arctic Region (58–64° to 90°N) that may be prospective for hydrocarbons[J]. Geological Society, London, Memoirs, 2011, 35(1): 17-37.
- 3 SPENCER A M, EMBRY A F, GAUTIER D L, et al. Arctic petroleum geology [M]. London: Geological Society, 2011.
- 4 李学杰, 姚永坚, 韩冰, 等. 北极地区区域地质及美亚海盆的演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(S2): 224-233.
- 5 杨静懿, 李江海, 毛翔. 北极地区盆地群油气地质特征及其资源潜力[J]. 极地研究, 2013, 25(3): 304-314.
- 6 PEASE V, DRACHEV S, STEPHENSON R, et al. Arctic lithosphere—a review[J]. Tectonophysics, 2014, 628: 1-25.
- 7 雷闪, 殷进垠. 北极油气开发现状分析与战略思考[J]. 中国矿业, 2014, 23(2): 16-19, 23.
- 8 麻伟娇, 陶士振, 韩文学. 北极地区油气成藏条件、资源分布规律与重点含油气盆地分析[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(6): 1046-1056.
- 9 张凯逊, 韩淑琴, 孟秋含, 等. 北极地区盆地分类与油气资源分布规律[J]. 地质力学学报, 2020, 26(6): 901-910.
- 10 王哲, 李学杰, 汪俊, 等. 北极区域构造对沉积盆地演化的控制作用[J]. 极地研究, 2020, 32 (2): 140-150.
- 11 张文昊, 赵洁, 顾洪, 等. 中国极地油气资源开发装备产业现状及发展策略建议[J]. 国际石油经济, 2021, 29(3): 33-38.
- 12 贺正军, 王兆明, 范兴燕, 等. 俄罗斯北极油气勘探形势与未来合作展望[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(6): 54-62.
- 13 张祥国. 俄罗斯新版北极战略及其发展前景[J]. 西伯利亚研究, 2022, 49(6): 59-70.
- 14 赵宁宁. 拜登政府的北极战略及其实施前景探析[J]. 边界与海洋研究, 2022(6): 35-48.
- 15 刘建民, 赵越, 殷进银, 等. 北极地质与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- 16 吴瑞棠. 北极斯匹次卑尔根地质概况[J]. 中国地质, 1987, 14(2): 19-21.

- 17 杜星星, 刘建民. 中国参与北极油气资源开发利用前景与方向[J]. 地质力学学报, 2021, 27(5): 890-898.
- 18 姜胤安. 中国参与北极油气能源合作的进展挑战与应对[J]. 国际石油经济, 2022, 30(12): 17-23.
- 19 GAUTIER D L, BIRD K J, CHARPENTIER R R, et al. Assessment of undiscovered oil and gas in the Arctic[J]. Science, 2009, 324(5931): 1175-1179.
- 20 赵越, 刘建民, 韩淑琴, 等. 冰上丝绸之路与北极油气资源[J]. 地质力学学报, 2021, 27(5): 880-889.
- 21 DICKINSON W R. Sedimentary basins developed during evolution of Mesozoic-Cenozoic arc-trench system in western North America[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1976, 13(9): 1268-1287.
- 22 DISHROON D R KINGSTON C P. Global basin classification system[J]. AAPG Bulletin, 1983, 67(12): 2175-2193.
- 23 KLEIN G D. Geodynamic basin classification: ABSTRACT[J]. AAPG Bulletin, 1987, 71.
- 24 S&P Global. EDIN Database[DB/OL]. (2022-04-21) [2023-06-30]. New York S&P Global. <https://edin.ihsenergy.com/portal/home>.
- 25 赵隆. 中俄北极可持续发展合作: 挑战与路径[J]. 国际问题研究, 2018(4): 49-67, 128.
- 26 张祥国, 李学峰. 论俄罗斯新版北极战略及其经济前景[J]. 东北亚经济研究, 2022, 6(3): 76-86.
- 27 张祥国, 何静, 陈吉祥. 以竞争为导向的美国北极战略调整[J]. 边界与海洋研究, 2020, 5(6): 91-100.
- 28 王金平, 刘嘉玥, 李宇航, 等. 环北极国家北极研究布局及对中国的启示[J]. 科技导报, 2021, 39(9): 9-16.
- 29 王浩宇. 挪威的北极战略: 实践路径、挑战与愿景[J]. 浙江海洋大学学报(人文科学版), 2023, 40(4): 26-32, 49.
- 30 自然资源部油气资源战略研究中心. 北极地区油气资源与国际合作[M]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- 31 中华人民共和国自然资源部. 海上石油天然气储量估算规范: DZ/T 0252—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- 32 United States Geological Survey. Circum-Arctic resource appraisal: Estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle[R/OL]. (2008-06-23) [2023-06-30]. Reston: United States Geological Survey. <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3049>.
- 33 赵喆, 梁英波, 胡菁菁, 等. 北极地区含油气潜力及勘探开发趋势分析[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 47-55.
- 34 胡靖靖. 北极斯维尔德鲁普盆地油气资源潜力评价[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2021.
- 35 孟秋含. 阿拉斯加北坡盆地含油气系统分析与资源评价[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2021.
- 36 EGOROV A S, PRISCHEPA O M, NEFEDOV Y V, et al. Deep structure, tectonics and petroleum potential of the western sector of the Russian Arctic[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(3): 258.
- 37 李刚, 胡靖靖, 白国平, 等. 北极斯维尔德鲁普盆地含油气系统分析与资源潜力评价[J]. 石油实验地质, 2023, 45(3): 474-485.
- 38 李文昌, 李建威, 谢桂青, 等. 中国关键矿产现状、研究内容与资源战略分析[J]. 地学前缘, 2022, 29(1): 1-13.
- 39 时梓铭. 环北极国家北极战略综述[J]. 中国水运: 下半月, 2021, 21(10): 30-32.
- 40 刘乾. 西方制裁下的俄罗斯北极油气开发[J]. 欧亚经济, 2019(4): 76-87, 128.
- 41 BP. Statistical review of world energy[R]. London: Energy Institute, 2022.

Analysis of distribution and exploitation of oil and gas resources in the Arctic region

SUN Di, ZHANG Houhe, HAO Jing, LI Chunrong, LIU Shixiang, JIANG Dexin, LI Yican

(CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract

The Arctic region has significant potential for oil and gas resources, which is important in optimizing energy import structure and dispersing oil import risk in China. Using the latest data from Standard and Poor's Global and the United States Geological Survey, this study analyzed the history of oil and gas exploration and development in major countries around the Arctic and the temporal and spatial distribution of oil and gas resources in the region. The results show that: (1) Arctic oil and gas exploration and development is mainly conducted by Russia, the USA, Canada, Norway, and Denmark, and can be divided into four stages: early investigations (before 1963), discovery on land and early development (1964–1976), sea-land common developments on land and offshore and rapid production (1977–1992), exploration downturn and development based on high oil position (1993–present). (2) In the Arctic, 519 oil and gas fields have been discovered, with cumulative proved and probable (2P) recoverable reserves, cumulative production, and undiscovered potential resources of 47400 million tons, 16200 million tons, and 115900 million tons of oil equivalent, respectively; the composition and geographical distribution of oil and gas are uneven, and resources are present in different categories of countries. Combining these results with the current situations in major Arctic countries and future prospects for the resource exploitation, positive cooperation with Russia in natural gas exploration and development, domestically and internationally, is recommended. China would actively expand international cooperation in exploiting liquefied natural gas and developing infrastructure for the Arctic shipping route on the basis of consolidating the pipeline natural gas construction process.

Keywords oil and gas resources, distribution characteristics, development and exploitation, Russia, Arctic region