

北极油气勘探开发技术最新进展研究^{*}

刘学¹，王雪梅¹，凌晓良²，郑军卫¹，王立伟¹

(1. 中国科学院国家科学图书馆兰州分馆/中国科学院资源环境科学信息中心 兰州 730000;

2. 中国极地研究中心极地信息中心 上海 200136)

摘 要：文章总结了主要国际机构对北极地区油气资源储量的评估，并探讨了北极油气资源开发面临的恶劣环境挑战及其应对技术。得出：随着全球对能源的需求日益增长，科技的不断发展，全球的消费者将来用上来自遥远北极的油气产品指日可待。未来可能对北极油气勘探开发起重要影响的技术有可控源电磁技术、拖缆地震采集技术、新型磁力断层摄影检测技术、套管钻井技术、适合极地的钻井平台、破冰油船、破冰 LNG 船等；但是目前这些技术主要由大型跨国油气公司和油田技术公司掌控，并主要集中在环北极国家。迄今为止，我国尚未涉足勘探北极地区的油气资源，并在相关科技能力和设施条件等方面与环北极国家相比还存在较大差距。基于此，为我国相关机构参与到北极油气勘探开发提出相关建议。

关键词：北极；油气资源；勘探开发

北极地区是指北极圈（66°34'N）以北的区域，包括北冰洋和 8 个环北极国家（加拿大、丹麦、芬兰、冰岛、挪威、瑞典、俄罗斯和美国）的北方领土。近年来，世界不同组织机构对该地区的油气资源进行了如火如荼的调查评估，尽管评估都显示北极油气资源的储量相当可观，但是要对北极油气资源进行规模开发，则会遇到众多技术上的困难。本研究就当前这些油气资源评估和北极油气开发面临的挑战与最新技术进行总结和分析，并就此为我国提出一些相关建议。

1 北极油气资源储量评估

1.1 北极常规油气资源评价

2008 年 7 月 23 日，美国地质调查局 (USGS) 发布《环北极资源评估报告》，公布了环北极资源评估项目的北极传统油气资源评价结果^[1]。在评估的北极圈以北的 33 个地质区中，25 个地质区给出了评价：待发现估计总量为石油 900 亿桶，占世界待发现石油资源量的

13%，天然气 1669 万亿立方英尺 (tcf)，占世界待发现天然气资源量的 30%。

据 IHS Energy 公司的 2009 年全球勘探开发数据库，北极地区已发现了约 600 多亿桶的石油储量、天然气储量 1 136 tcf、凝析油储量 80 亿桶、总油气当量 2 570 亿桶^[2]。

2010 年，来自俄罗斯科学院西伯利亚分院卓菲马克石油地质与地球物理研究所针对俄罗斯北极地区石油和天然气潜能的评估表明，在 21 世纪的后半叶，北极石油超级盆地有可能提供与波斯湾或西西伯利亚盆地群相当的能源^[3]。

1.2 北极非常规油气资源评价

2008 年，USGS 完成了阿拉斯加北坡天然气水合物可采资源的首次评价^[4]，该评价区域位于阿拉斯加北部，西起阿拉斯加国家石油储备区 (NPRA)，东至北极国家野生动物保护区 (ANWR)，从布鲁克斯山脉向北一直到距海岸线以北 4.83 km 的州和联邦海上边界，总面积约 144 765 km²，该区域内含有大约 85 tcf 未探明的技术可采天然气资源。据美国能源部能源

* 基金项目：中国极地研究中心“极地油气资源勘探与开发技术文献检索、整理与分析”项目资助。

信息署 (EIA) 估计, 按照美国当前的能源消费率, 这些资源足可满足 1 亿普通美国家庭 10 年的天然气供热需求。

综上所述, 北极油气资源的储量相当可观, 在全球油气资源日趋匮乏的今天, 北极被看成是“第二个中东”。截至 2011 年 6 月, 北极地区石油累计产量仅为 200 亿桶左右, 天然气累计产量也只有 395.76 tcf^[5]。目前, 北极地区仍有近半数盆地未进行油气勘探, 已发现的油气田由于气候、基础设施以及技术等原因尚未投入开发。本研究试图通过收集的资料, 对北极油气开发面临的挑战与应对技术进行总结与分析。

2 北极油气开发面临的挑战与应对技术

2.1 环境与后勤

严酷的天气条件要求设备能够承受极度低温, 恶劣的土壤条件有可能使设备和建筑物发生下沉, 还有北极的环境极其脆弱, 地震勘探作业的影响, 如钻机、震源车和记录车等遗留下来的痕迹, 可能会存在数十年。

斯伦贝谢在加拿大西北地区作业时, 采用在临近河流湖泊中的水浇在地面上, 建造冰路, 以支撑重型卡车和设备。西方奇科在阿拉斯加北坡引入了第一批橡胶履带震源车。宽履带和橡胶轮面结合使用, 在脆弱的北极冰面上产生的压力较低, 损害较小。西方奇科还采取了其他措施来减小对环境的影响。例如, 将油滴盘或者吸附材料置于停止卡车的下部, 防止烃类物质滴落和溢出从而污染积雪; 指示炮点和检波点位置时使用木桩而非塑料和金属标志^[6]。

2.2 勘探挑战

由于冰川的冲蚀和沉积, 导致北极地区地貌特征极其复杂。地面凹凸不平和近地表的非均质性会影响地震测量结果。使用常规技术在北极进行勘探可能非常困难。

近几年来, 可控源电磁 (CSEM) 技术在国外深水油气勘探中发挥了巨大作用, 有效降低了深水勘探的勘探风险, 能有效检测出以往不易发现的薄油气层及区分其中所含流体是油还是水。2008 年, 加拿大能源公司及其合作伙伴 Nunaoil 公司和 Cairn 能源公司在格陵兰海上边

疆盆地两个区块进行油气勘探^[7], 成功运用 CSEM 技术确认 8 个存在电阻率异常的远景区含油气资源的概率仅为 50%。在北极边疆盆地进行勘探仍然具有很大的风险, 但采用 CSEM 技术有助于降低钻干井的潜在风险。

2012 年 12 月 3—5 日, 第二届北极技术会议 (Arctic Technology Conference 2012) 在休斯敦召开, 该大会的主题为“今天的挑战与明天的机遇”, 与会者讨论了在北极地区的石油和天然气勘探和生产的最新技术和安全问题。会上还首次颁发了北极勘探开发技术最具创新奖。来自美国 ION 公司的控制冰下的拖缆地震采集技术 (Under-Ice Towed Marine Streamer) 以及来自俄罗斯 Transkor-K 研究和发展中心与马来西亚国家石油公司 (Petronas) 共同研发的对海底管道进行检测的新型磁力断层摄影检测技术 (MTM) 获得该殊荣^[8]。

2.3 钻井作业

由于北极地区生态环境脆弱、温度超低、暴风雪猛烈, 还有强海流、浮冰、冰山、永冻层, 所有这些都增加了钻井作业的风险。因此, 目前适合极地恶劣环境钻井作业的钻井船和钻井平台数量非常有限。

韩国的造船综合能力居世界领先地位, 并且垄断了能够在极地海域进行作业的冰区海洋工程船舶, 自 2007 年 11 月韩国三星重工建成世界第一艘适合极地工作的钻井船后, 目前该船厂正在建造第五代深水极地钻井船; 现代重工将开发适合极地使用的 LNG 船的 LNG-FPSO 作为其长期发展战略。另外, 欧美公司垄断着平台装备设计领域, 瑞士越洋钻探公司 (Transocean) 建造了极地先锋号钻井平台, 目前正在挪威巴伦支海 Skrugard 油田服务。该平台的钻机组块和管汇采用低温碳钢建造, 所有操作都是全封闭的, 并配有加热系统, 便于在寒冷的北极地区开展油气钻探活动^[9]。荷兰 Huisman 设备公司设计了一种适合近北极地区的半潜式钻井平台, 即 JBF 北极圈号钻井平台, 其作业水深 60~1 500 m, 采用锚泊定位, 其独特的结构能够承受冬季厚冰 (冰厚度可达 1.5~2 m) 和夏季风浪冲击, 便于在近北极地区全年

全天候作业^[10]。

为了应对极地恶劣环境, 钻井船、钻井平台以及水下设备必须极其坚固。在浅水区, 在由砾石或冰建造的人工岛上进行钻井作业, 是目前最为经济有效的解决方案。除了用各种材料建造人工岛外, 各种沉箱或挡水结构也被用作钻井设施。例如, 埃克森美孚公司在北极作业中使用了砾石岛、冰岛、沉箱固定岛 (CRI)、混凝土岛钻井系统 (CIDS) 以及 Molikpaq 和单个钢制钻井沉箱 (SSDC) 系统。

目前, 可利用套管钻井 (CWD) 技术来改善在北极环境中的钻井作业。该技术可使作业者一趟完成钻井和下套管作业, 对钻井液的排量要求相对较低, 从而避免引起井眼扩大。由于排量较低, 因此可以使用更小、更轻便的钻机设备, 降低了搬运钻机时对冰层最小厚度的要求, 从而延长了北极的冬季作业时间。

2.4 固井与增产作业

北极地区的固井作业面临极大的挑战。水泥凝固过程中通常伴随水泥成分发生水化反应而释放热量。其他地区的固井作业可忽略这种放热性, 但在北极这一特性却很重要, 因为释放出的热量将导致永冻层融化。井筒周围产生液态水, 导致之前坚硬稳定的地层变得疏松、不稳定。针对这一问题, 斯伦贝谢研发了一种新的解决方案——ARCTICSET 水泥, 这种水泥是针对低温永冻层专门设计的。水泥的组分经过精心设计, 水泥固化时水化反应的放热量达到最低。ARCTICSET 水泥不会冻结, 但在

环境温度低至 -9°C (16°F) 时能够固化并形成足够的强度^[6]。

恶劣寒冷的气候同样给增产作业带来困难。水力压裂和基质酸化面临同样的后勤和环境安全挑战, 但在供应物资尤其是化学品的处理和储存方面, 各自面临不同困难。水力压裂是一项复杂的油田服务, 它需要设备来运输、储存水和化学品, 配制压裂液, 混合支撑剂与压裂液, 泵送压裂液至井下并对压裂过程进行监测。为了提高这些环境条件下的作业效率, 斯伦贝谢的工程师针对西伯利亚地区 (包括北极地区) 的作业设计出了专用压裂车。道达尔公司选择了 VDA 黏弹性转向酸来均匀泵入处理液, 选择了 DAD 动态酸分散体系来进行酸化增产作业。

2.5 油气运输

虽然未来北极夏季具备航运条件, 但时间也很短, 冬季航道还会结冰。因此, 要将石油运输出去, 必须解决好相应的航运技术和破冰技术难题。从主要国家目前拥有的极地破冰船数量来看^[11], 俄罗斯优势明显 (表 1), 占总数的 $1/3$ 以上, 并且独有核动力破冰船 7 艘, 而芬兰、瑞典、加拿大、荷兰和美国等也都拥有一支强大的破冰船队。但是总体而言, 这些极地破冰船老化现象非常严重, 目前各国还在相继建造新的破冰船, 中国正在自主建造第一艘极地考察破冰船, 有望在 2014 年服役; 俄罗斯交通部表示, 俄将在 2020 年前建成 3 艘新的核动力破冰船, 以便完全保障北部航道的通行, 此外还将建造 6 艘常规动力破冰船。

表 1 主要国家的极地破冰船一览表^[11]

国家	破冰船数量	开始服役年代	推动力类型
俄罗斯	18	1970s 5 艘	核动力 7 艘
		1980s 5 艘	柴油发电 7 艘
		1990s 3 艘	轴带发电 4 艘
		2000s 2 艘	
芬兰	7	1970s 2 艘	柴油发电 7 艘
		1980s 2 艘	
		1990s 3 艘	
瑞典	7	1970s 3 艘	柴油发电 6 艘
		1980s 1 艘	轴带发电 1 艘
		2000s 3 艘	

续表

国家	破冰船数量	开始服役年代	推动力类型
加拿大	6	1970s 1 艘	柴油发电 5 艘
		1980s 3 艘	轴带发电 1 艘
		1990s 1 艘	
		2000s 1 艘	
荷兰	3	1970s 1 艘	柴油发电 1 艘
		1980s 2 艘	轴带发电 2 艘
美国	3	1970s 2 艘	柴油发电 3 艘
		2000s 1 艘	
挪威	1	2000s	柴油发电
日本	1	1982	柴油发电
德国	1	1982	柴油发电
阿根廷	1	1978	柴油发电
澳大利亚	1	1989	柴油发电
中国	1	1994	柴油发电
韩国	1	2009	柴油发电

目前,俄罗斯石油公司在极地海域开发生产的石油用两种方法向外输送:一是铺设海底输油管道,将油输送到不冻港,再用油船往外运输。但在深海海域,铺设油气管道投资成本很高(横贯阿拉斯加的管道体系建于1974年,耗资近百亿美元,每天将200万桶原油从普鲁度湾运到1300 km外的不冻港——坐落在威廉王子湾的瓦尔迪兹港。俄罗斯西伯利亚的天然气管道耗资180亿美元,是目前建成的唯一能把西伯利亚油气输往西欧的管道体系)。二是用核动力破冰船开道,油船紧随其后缓慢前进,但运输成本大大增加,且速度慢,效率低(俄罗斯目前利用北海航线搞商业运输。该航线从摩尔曼斯克到符拉迪沃斯托克,沿俄罗斯的北极海岸绵延9800 km,借助于核动力破冰船,每年可航行150 d以上)。

由于在北极地区铺设油气管道和用于开道的极地破冰船的投资成本太大,石油公司和造船企业开始探索将专用破冰船的破冰功能嫁接到油船和LNG船上,建造出破冰油船和破冰LNG船等新概念船型。有报道称2012年俄罗斯北极Yamal LNG项目计划新造并包租12—16艘破冰LNG船。

2.6 小结

随着技术的不断创新,未来可能对北极油气勘探开发起重要影响的技术如下:可控源电磁技术、拖缆地震采集技术、新型磁力断层摄影检测技术、套管钻井技术、适合极地的钻井平台、LNG—FPSO、破冰油船和破冰LNG船等;但是目前这些技术主要由大型跨国油气公司和油田技术公司掌控,并集中在主要环北极国家。

英国著名能源分析研究机构Infield System公司在第二届北极技术会议上公布了其最新研究成果《至2018年北极近海油气资源市场报告》(Offshore Arctic Oil & Gas Market Report To 2018),该研究显示,2012—2018年,在北极地区的总资本支出中,超过一半是用于管道,另有31%是用于平台。

尽管技术、气候和环境等因素会对北极地区的油气生产产生影响,但最终决定因素是盈利能力。据估计,在假定勘探开发和运输都不成问题的情况下,开采北极原油的成本最少在30美元/桶^[12],即只有在高油价的条件下,北极油气的生产才能具有商业价值,随着全球对能源的需求日益增长,科技的不断发展,全球

的消费者将来用上来自遥远北极的油气产品也是指日可待。

3 对中国的启示

由于全球变暖和冰川逐渐消融,将导致北极地区成为一个新的资源和能源产地,使其越来越成为世界各国争夺的“热土”。迄今为止,我国尚未涉足勘探北极地区的油气资源,尤其是在相关科技能力和设施条件等方面与环北极国家相比还存在较大差距。对此,笔者提出如下建议。

(1) 中国作为一个近北极国家,将把北极地区作为一个新的油气进口目标地区。应加大对北极考察的投入,以掌握北极地区的油气资源、航道等情况,增强在国际事务中的发言权。特别是应加强抗冰船舶的设计和研发,组建现代化的破冰船队,为北极油气运输做准备。

(2) 中国应密切关注北极地区的区块招标活动和油气开发利用技术,鼓励和支持国内企业与他国油气企业联合投标和共同开发等商业活动,或者通过政府注资、技术入股、设备出口等方式积极参与到北极油气资源的开发过程。

参考文献

- [1] USGS. Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle [R]. 2008.
- [2] 卢景美,邵滋军,房殿勇,等. 北极圈油气资源潜力分析[J]. 资源与产业, 2010, 8, 12(4): 29-33.
- [3] KONTOROVICH A E, EPOV M I, BURSHTAIN L M, et al. Geology and hydrocarbon resources of the continental shelf in Russian Arctic seas and the prospects of their development[J]. Russian Geology and Geophysics, 2010, 51: 3-11.
- [4] USGS. Assessment of Gas Hydrate Resources on the North Slope, Alaska, 2008[R]. 2008.
- [5] 彭科峰. 北极地区油气资源开发透视[EB/OL]. (2012-05-14) [2012-10-28]. <http://news.cnpc.com.cn/system/2012/05/14/001376682.shtm>.
- [6] BISHOP A, BREMNER C, LAAKE A, et al. 北极油气资源潜力: 挑战与解决方案[J]. 油田新技术, 2010, 22(4): 36-49.
- [7] BRADY J, CAMPBELL T, FENWICK A, et al. 电磁法油气勘探[J]. 油田新技术, 2009, 21(1): 4-19.
- [8] TAYLOR M, MURPHY P. Arctic Technology Conference 2012 Post-Show Report[R]. 2012.
- [9] KENNEDY J L. Despite offshore delays, arctic projects advance and new areas are opened[J]. World Oil, 2011, 232(8): 84-86.
- [10] SMITH J. Need drives advances[J]. World Oil, 2011, 232(5): 46-50.
- [11] PERRY C M, ANDERSEN B. The Institute for Foreign Policy Analysis. New Strategic Dynamics in the Arctic Region: Implications for National Security and International Collaboration[R]. 2012. 2.
- [12] 宋鹏霞. 北冰洋下的石油之争[EB/OL]. (2008-01-03) [2012-11-20]. <http://finance.sina.com.cn/review/observe/20080103/09404361398.shtml>.