广东天然气水合物产业发展对策研究

冯猜猜，胡振宇，安然，杨阳

（综合开发研究院（中国·深圳） 深圳 518029）

摘要：为加快我国天然气水合物产业的发展，有力支撑我国海洋经济高质量发展，文章概述广东省天然气水合物的产业基础，研判其面临的挑战，分析国际非常规能源的发展概况和特点，并提出对策建议。研究结果表明：美国马塞勒斯支持推动页岩气的基础理论研究和技术创新，英国利物浦全力培养海上风电高端人才并积极营造海上风电优质发展环境；广东天然气水合物产业发展资源禀赋优良、技术持续攻关、产业呈集聚发展态势，政府出台一系列相关政策支持产业发展，但仍面临国际资源开发利用竞争加剧、采储层开采难度大、关键技术尚待攻关和开发成本偏高等方面的挑战，亟须大力支持基础理论研究、突破海工装备关键技术、积极推进能源金融发展和强化海洋人才队伍支撑。

关键词：天然气水合物；非常规能源；可燃冰；海洋矿产；技术研发

中图分类号：P744.4 **文献标志码：**A **文章编号：**1005－9857(2021)02－0036－05

The Development Strategy of Gas Hydrate Industry in Guangdong Province

FENG Caicai，HU Zhenyu，AN Ran，YANG Yang

（China Development Institute，Shenzhen 518029，China）

Abstract：In order to accelerate the development of natural gas hydrate industry and strongly support the high-quality development of marine economy，this paper summarized the basis of natural gas hydrate industry in Guangdong Province，studied and judged the challenges faced，analyzed the development situation and characteristics of international unconventional energy，and put forward countermeasures and suggestions. The research results showed that：Marcellus of the United States supported the promotion of basic theoretical research and technological innovation of shale gas，Liverpool of the United Kingdom made every effort to cultivate high-end talents of offshore wind power and actively created a high-quality development environment for offshore wind power；Guangdong′s natural gas hydrate industry had excellent resource endowment，continuous technological breakthrough and industrial agglomeration developing trend，and the government had issued a series of relevant policies to support the industry.But at the same time，it still faced

收稿日期：2020-03-31；**修订日期：**2021-01-20

基金项目：广东省促进经济高质量发展专项资金海洋经济发展项目“广东省未来产业（天然气水合物）发展规划”（GDOE[2019]A53）；广东省海洋经济高质量发展“十四五”规划前期研究项目（粤自然资合[2020]066）；广东省海洋六大产业三年行动方案制订项目（粤自然资合[2019]013）.

作者简介：冯猜猜，研究员，硕士，研究方向为海洋经济

the challenges of intensified competition in international resource development and utilization, great difficulty in reservoir exploitation, key technologies to be tackled, and high development cost. It was urgent to vigorously support the basic theoretical research, break through the key technologies of marine equipment, actively promote the development of energy finance, and strengthen the support of marine talent team.

Keywords: Natural gas hydrate, Unconventional energy, Combustible ice, Marine mineral, Technology research and development

0　引言

天然气水合物又称“可燃冰”，具有热值高和污染小等特点，是资源量丰富的高效清洁能源，也是未来全球能源发展的战略制高点。2017 年原国土资源部、广东省人民政府和中国石油天然气集团公司签署协议，推进天然气水合物勘查开采先导试验区建设。2020 年 3 月神狐海域天然气水合物第二轮成功试采，攻克深海浅软地层水平井钻采核心技术，实现从“探索性试采”向“试验性试采”的重大跨越。

广东毗邻我国南海，拥有丰富的深海矿产资源和广阔的矿产应用市场。因此，发展天然气水合物产业，重点突破先导试验区资源勘查、钻探、采集和储运等上、下游全产业链关键技术，打造海洋创新合作平台，形成核心竞争力，对带动相关产业技术进步以及培育海洋经济发展新动能具有重要意义，是实现海洋经济高质量发展的重要抓手。

1　广东天然气水合物产业的发展情况

1.1　产业发展基础

1.1.1　资源禀赋优良

广东毗邻我国南海，在拓展南海海洋经济空间方面具有突出优势。根据《中国矿产资源报告 2018》，我国南海蕴藏丰富的天然气水合物，天然气水合物科研团队在南海圈定水合物发育区，并据此估算南海天然气水合物资源量为 700 亿～800 亿 t 油当量，接近我国常规石油资源量，约是我国常规天然气资源量的 2 倍。其中，神狐海域先导试验区主要分为 A 区块和 B 区块，拥有 11 个矿体，面积为 128 km^2，资源储存量为 1 500 亿 m^3，相当于 1.5 亿 t 石油储量，具备天然气水合物产业化的资源基础。

1.1.2　技术持续攻关

天然气水合物是未来全球能源发展的战略制高点，我国已在南海海域成功实现 2 次天然气水合物试采。广东天然气水合物勘察开采技术攻关持续推进，并在南海北部新区实现重大突破，钻获天然气水合物实物样品，评价资源量丰富；系统开展泥质粉砂储层水合物成藏控制因素和开采过程中三相转化机理研究；突破深水浅软地层水平井建井的世界级难题，形成储层改造、流动保障和钻采监测等多项技术工艺；深化对水合物开采环境影响的理论认识，完善试采形成的大气、水体、海底和井下“四位一体”环境监测技术体系，形成日渐完善的技术体系。

1.1.3　产业集聚发展

广东拥有广州海洋地质调查局、中国科学院广州能源研究所和中国科学院南海海洋研究所等天然气水合物勘探开发相关科研机构，其中由广州海洋地质调查局建设的深海科技创新中心围绕海域天然气水合物勘查试采开展一系列海洋地质工作。首次由自主品牌深海作业级潜水器“海马”号和“深海勇士”号联合探查“海马冷泉”。建成广州南沙、深圳蛇口和珠海高栏港等一批海洋工程装备制造基地，逐步形成珠江东、西岸海洋工程装备制造业集聚区。海洋企业已具备大规模建造海上钻井平台的能力，并覆盖产业链设计研发、总装、建造和应用等上、中、下游环节。

1.1.4　政策大力支持

自 2018 年起，广东连续 3 年每年设立 3 亿元的省级海洋经济发展专项资金，重点支持包括天然气水合物开发在内的海洋六大产业项目的科技创新和成果转化。同时，广东出台一系列相关政策支持

天然气水合物产业的发展，主要包括《关于坚持陆海统筹 打造沿海经济带促进海洋经济高质量发展的决定》《广东省加快发展海洋六大产业行动方案(2019—2021 年)》《广东省海洋经济发展“十三五”规划》和《广东省战略性新兴产业发展“十三五”规划》，持续推进天然气水合物的产业化进程，为保障国家能源安全作出积极贡献。

1.2 面临的挑战

1.2.1 国际资源开发利用竞争加剧

全球至少有 40 个国家和地区已开展天然气水合物的研究和调查勘探，多国已制定鼓励天然气水合物开发利用的法规和政策，并加大天然气水合物勘探开发的技术研发力度。美国是最早开展天然气水合物研究和开发的国家，先后出台联邦法案和系列研发计划，引入大学、国家实验室和石油能源公司等进行跨机构合作，并投入大量科研经费开展天然气水合物分布、储量、成藏机理和开采条件等的研究[1]。日本重视对天然气水合物的相关研究，由政府牵头并主导天然气水合物开发研究计划，持续性投入大量资金支持勘探活动，成立专门研究机构，积极参与国际天然气水合物勘探研究合作项目[2-3]，在天然气水合物的探测、基础研究和先导钻探试验等诸多方面已处于世界领先地位。目前我国天然气水合物开采技术仍在试运行阶段，深水钻探、管道建设和安全环保等技术亟待提升，迫切需要加快对天然气水合物资源的开采与利用，抢占产业发展制高点。

1.2.2 采储层开采难度大，关键技术尚待攻关

日本和美国等瞄准的天然气水合物试采均为砂质类型，该类型资源量约占世界资源量的 5%，其孔隙和稳定条件均较好，开采难度最低。我国试采的泥质粉砂型储层资源量占世界资源量超过 90%，是我国南海海域天然气水合物的主要储集类型，具有特低孔隙度和特低渗透率等特点[4]。由于天然气水合物赋存区域通常没有完整的圈闭层，钻井开采相比传统油气藏开采的难度加大，容易发生泄露等危险。深水区浅部地层松软，易垮塌和发生井漏，钻探风险极高，开采难度最大，亟须加大关键技术攻关支持，为产业化开采提供技术保障。同时，常规海洋油气勘探开发装备无法直接用于天然气水合物试采，亟须自主研发天然气水合物专用装备。

1.2.3 开发成本较高，存在经济性制约

目前针对天然气水合物开采的经济性评价较少。美国于 2009 年对海洋水合物开采的数值模拟进行经济性评价，结果表明水合物藏的开采成本比相似储量的传统天然气藏高 0.80～0.95 元/m^3。日本国家石油天然气和金属公司对日本南海首次海上水合物试开采的估算结果表明，从海底天然气水合物中每提取 1 m^3 的天然气须花费 2.8～10.8 元。我国南海天然气水合物的开采成本约为 200 美元/m^3，折合天然气成本为 8 元/m^3，远高于通过成熟技术开采常规天然气的成本，因此天然气水合物的勘探开发暂时无法实现经济效益。

2 国际非常规能源的发展经验

2.1 美国页岩气

2.1.1 发展概况

美国从 20 世纪 80 年代初开发页岩气，从最早的巴奈特页岩到近期的海恩斯维尔页岩，已实现页岩气商业化开采的区带约有 20 个。美国页岩气区带分布广泛，包括马塞勒斯和尤提卡等页岩区[5]。马塞勒斯页岩区是美国页岩气开发的最主要区域，位于美国东部的阿巴拉契亚盆地，其页岩气藏的整体构造和厚度受基底构造样式的影响，从北部的纽约州至南部的肯塔基州和田纳西州的地下延伸[6-7]。

目前美国页岩气的产量增长主要来自马塞勒斯、伊格尔福特、海因斯维尔、巴奈特、奈厄布拉勒、二叠纪盆地和尤提卡等区带[8]。其中，马塞勒斯是全美最大的页岩气产区，平均产量约为 5.7 亿 m^3/d，已探明储量高达 2.2 万亿 m^3，是美国最大的天然气气田之一。

页岩气的发展前景较好。据估计，美国页岩气产量将保持较快的增长趋势[9]，将为美国贡献约 75%的天然气产量。马塞勒斯等东部页岩区带的持续开发是美国页岩气产量增长的主要动力。技术的进步和运行的完善可不断降低页岩气的开采成本，同时提高单井的最终产量，可大幅提升页岩气的产出效益。

2.1.2　发展特点

美国设立专项资金用于页岩气等非常规天然气勘探开采的关键技术和理论研究，支持大学和研究机构开展包括页岩气在内的非常规油气开发的基础研究。美国能源企业通过在马塞勒斯页岩区的勘探开发活动积累了大量地质数据，按照美国法律，其必须上报矿产勘探开发获得的地质数据并向社会公开。因此，美国拥有大量的油气勘探数据，在此基础上开展的技术理论研究为其页岩气勘探开发提供数据积累和技术储备。

页岩气勘探开发市场的准入门槛较低，美国充分鼓励页岩气勘探开发领域的机构展开竞争。由于页岩气勘探开发初期的经济性和成长性不明朗且技术驱动性强，中小企业是页岩气勘探开发的主要推动力量，美国约有 85%的页岩气产量来自中小企业；在高成本和低回报的压力下，中小企业不断进行技术革新，促进相关技术的进步。在油气开发经验和技术的基础上，美国通过不断的实验和投入，探索出一整套高效率和低成本的开采技术，大幅提高页岩气井的单井产量。

2.2　英国海上风电

2.2.1　发展概况

英国海上风电产业发展的起步较晚，但其凭借完善的政策支持体系，已形成海上风电产业集聚区，为技术创新孵化、竞争力提升和规模经济发展创造条件。利物浦是英国西海岸主要的海洋能源中心，拥有欧洲最大的风力发电厂，为落户的海上风电企业提供一系列支持，包括对现有港口基础设施、技术和供应链的布局，提供相关基础设施、大量可供开发的土地、人力资源、完善的供应链以及政府特许便利政策等服务，实现海上风电产业的快速增长。

利物浦拥有众多海上风电科研机构，在可再生能源领域享有世界声誉。其中，利物浦约翰摩尔斯大学海事学院、利物浦大学斯蒂芬森可再生能源研究所、国家海洋学中心和西北海事工程学院等是世界领先的海上风电专业研究机构，为利物浦海上风电产业的发展提供基础理论和技术支撑。在政策的大力支持下，利物浦已形成完善的海上风电上、下游产业链，拥有东能源公司和莱茵集团等众多能源企业总部，集聚海上风电相关行业的 1 700 余家公司，拥有一批海洋工程和专业制造领域的高端技术人才。

2.2.2　发展特点

建立人才投资集团，由专业人员确定整个行业的技能需求，开发培训课程，深化技能基础，鼓励相关行业进行技术交流，促进海上风电等可再生能源的技术沟通。引入劳动力和技能模型，跟踪和报告劳动力数据，使用模型完成技能差距分析，跟踪和报告高端人才情况，建立鼓励机制，提升整个行业的多样性、包容性和公平性。

受益于欧洲风能研发融资计划，利物浦成立区域增长基金，用于支持对海上风电行业的投资[10]，对有意向在利物浦注册设立的海上风电企业提供港口基础设施融资和财政支持援助方案。在区域增长基金的支持下，利物浦开发海洋能源商业园区，并在园区内设立虚拟“自由港”，电子监控进口货物的加工和海关仓储，并免税保存。

创建并资助海上风能科技创新联盟[11]，逐步构建完整和成熟的产业链，加快海上风电技术的研发突破。改善中小企业的融资渠道，对产业链企业进行独立评估，并对有关中小企业进入“壁垒”提供具体建议。及时为产业链的上、下游企业提供最新的专业信息和产业动态，实现产业链企业的信息共享，提升海上风电产业的国际竞争力。

3　广东天然气水合物产业发展的对策建议

3.1　大力支持基础理论研究

依托广东天然气水合物相关科研机构，围绕天然气水合物核心技术和环境监测等关键环节，推进粤港澳三地的科研力量加强研究合作和基础理论联合创新，完善天然气水合物形成机理和环境影响评估理论技术体系[12]。落实《推进南海神狐海域天然气水合物勘查开采先导试验区建设战略合作协议》，加大先导试验区勘查力度，查明先导试验区水合物资源分布状况，开展资源开采可行性前期研究，绘制基础地质数据图，提高资源评估水平，为天然气水合物的产业化开采和规模化生产提供设计基础。

3.2 突破海工装备关键技术

大力发展深水关键技术，突破海工装备技术难点，培育具有自主知识产权的天然气水合物开发技术与装备，积极推进天然气水合物开采装备的自主化和国产化。依托海洋油气“龙头”企业和涉海科研机构，建成代表国家水平的天然气水合物科学基础研究平台，开展天然气水合物成藏理论和勘探地质等基础科学研究，组织实施重大技术和产业化项目，为天然气水合物资源的最终利用提供科学理论指导。支持通过海外并购的方式推动海工装备技术升级，支持海工装备企业与海洋油气开采企业的深化合作，加快形成海工装备“独角兽”企业群。

3.3 积极推进能源金融发展

设立天然气水合物产业发展基金，引导商业性股权投资基金和社会基金以共同参与的模式进行天然气水合物综合开发，引进国内外的先进技术和优质项目，优化天然气水合物产业资源配置，以金融债券等形式广泛吸收社会资金，发挥投资公司以及实力较强和规模较大的油气与海工装备等企业和民间资本的优势和作用，实现优势互补和优化组合，为天然气水合物产业的快速持续发展奠定良好基础和创造有利条件。创新拓展融资渠道，支持天然气水合物相关优质企业发行债券以及资产证券化。

3.4 强化海洋人才队伍支撑

强化配套科研团队和工程技术队伍建设，形成衔接有序、梯次配套和分布合理的人才格局。鼓励油气公司和科研院所联合建立博士后科研工作站，为天然气水合物的大规模商业开发提供专业人才支撑。依托重大人才工程和相关重大人才平台，加快引进天然气水合物领域的创新型青年人才。加强国际天然气水合物高端人才的引进和培养，汇聚国内外一流人才和创新团队。启动建立海外科学家开放工作室，聘请海外顶尖学者担任首席科学家，解决天然气水合物领域的关键和“瓶颈”问题。

参考文献

[1] 黄河.美国可燃冰研究及开采技术发展现状[J].全球科技经济瞭望，2017，32(9)：60－64.

[2] SNYDER G T，SANO Y，TAKAHATA N，et al.Magmatic fluids play a role in the development of active gas chimneys and massive gas hydrates in the Japan Sea[J].Chemical Geology，2020，5355(3)：94－102.

[3] 赵克斌，吴传芝，孙长青.日本天然气水合物勘探开发研究进展与启示[J].国际石油经济，2019，27(9)：49－60.

[4] LIU C L，LI Y L，LIU L L，et al.An integrated experimental system for gas hydrate drilling and production and a preliminary experiment of the depressurization method[J]. Natural Gas Industry，2020，7(1)：56－63.

[5] SOLARIN S A，GIL-ALANA L A，LAFUENTE C.An investigation of long range reliance on shale oil and shale gas production in the U.S.market[J].Energy，2020，19515(3)：11－19.

[6] JIN Z F，LI W X，JIN C R，et al.Anisotropic elastic，strength，and fracture properties of Marcellus shale[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences，2018，109(9)：124－137.

[7] POTTS T B，YERGER D B.Marcellus shale and structural breaks in oil and gas markets：the case of Pennsy Lvania[J]. Energy Economics，2016，57(6)：50－58.

[8] WEIJERMARS R.US shale gas production outlook based on well roll-out rate scenarios[J].Applied Energy，2014，1241(7)：283－297.

[9] BILGILI F，KOCAK E，BULUT Ü，et al.How did the US economy react to shale gas production revolution? An advanced time series approach[J].Energy，2016，116(11)：963－977.

[10] TOKE D.The UK offshore wind power programme：a sea-change in UK energy policy? [J]. Energy Policy，2011，39(2)：526－534.

[11] DeCASTRO M，SALVADOR S，GÓMEZ-GESTEIRA M，et al.Europe，China and the United States：three different approaches to the development of offshore wind energy[J].Renewable and Sustainable Energy Reviews，2019，109(7)：55－70.

[12] 杜卫刚.天然气水合物试采技术[J].油气井测试，2019，28(1)：20－24.