

*Evaluation Report on
Advanced Marine Technologies*

海洋领域 先进技术评价

王戟毅 王云飞 薛钊 管泉 ◎ 等著



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

“科技创新战略研究专项资助”(ZLY2015143)

海洋领域先进技术评价

王裁毅 王云飞 薛 钊 管 泉 © 等著

中国海洋大学出版社
• 青 岛 •

图书在版编目(CIP)数据

海洋领域先进技术评价 / 王裁毅等著. — 青岛:
中国海洋大学出版社, 2016. 9
ISBN 978-7-5670-1246-2
I. ①海… II. ①王… III. ①海洋工程—高技术—研
究 IV. ① P75
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 232042 号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出 版 人	杨立敏	
网 址	http://www.ouc-press.com	
电子信箱	dengzhike@sohu.com	
订购电话	0532-82032573 (传真)	
责任编辑	张跃飞	电 话 0532-88334466
印 制	日照报业印刷有限公司	
版 次	2017 年 3 月第 1 版	
印 次	2017 年 3 月第 1 次印刷	
成品尺寸	185 mm × 260 mm	
印 张	17.25	
字 数	460 千	
印 数	1—1 000	
定 价	50.00 元	

课题组成员

项目总指导:王裁毅

课题负责人:王裁毅

成员分工:王裁毅 总体策划、研究设计

王云飞 研究设计并执笔第一、十、二十二、二十三章,统稿

薛 钊 研究设计、审核

管 泉 研究设计、审核

王志玲 研究设计并执笔第二、十一、十三、三十章

赵 霞 执笔第十八、二十四、二十五、二十六章

秦洪花 执笔第十五、十六、十九、二十一章

初志勇 执笔第五、二十九、三十二、三十三章

燕光谱 执笔第七、九、十七、三十一章

朱延雄 执笔第六、十二、二十七章

尚 岩 执笔第四、八、十四、二十八章

初 敏 执笔第三、二十章

前言

PREFACE

海洋技术是人类认知海洋、开发利用海洋所应用的技术。研究海洋的自然现象和过程、探索海洋自身规律、开发海洋资源、解决海上产业活动和作业的实际问题,都需要海洋技术的支撑。海洋技术既具有鲜明的海洋特质,又是集机械、材料、电子、信息、生物等众多领域之大成的高度综合和交叉的技术领域,其发展水平依赖于国家的科技、经济发展综合实力。

目前,国内对技术发展水平的评价基本上是通过专家调查问卷的形式进行,但存在两个主要问题:一是某些技术领域专家较少,导致调查问卷结果统计量不够或者出现无专家评判的情况;二是专家判断主要是根据专家经验,缺少数据支撑。因此,本书通过采用文献计量学的方法,绘制海洋领域先进技术知识图谱,针对无专家判断或少量专家判断的技术给出结果,弥补技术判断空白;为技术起源、研究热点、创新资源、发展水平及与领先国家的差距给出定量的判断以及数据支撑,提高判断的准确性;为相关科研人员提供学科服务;为政府制定科技发展规划、项目立项、开展国际合作等方面提供数据支撑。

本书选取了 33 项海洋领域先进技术。基于汤姆森路透 Web of Science(WOS)科学引文扩展数据库(SCIE)以及 TI 德温特专利数据库,针对国家高技术发展计划(“863”计划)确定的海洋油气领域技术,综合专家调查问卷、文献调研以及网络信息,借助 Histcite、Bibexecel、Citespace、TDA、Pajek

等软件,对技术的起源、研究热点、创新资源、技术发展的整体水平以及与领先国家的差距进行研究。

因作者水平所限,书中难免有不妥和疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

青岛海洋科学与技术国家实验室
青岛市科学技术信息研究院
海洋领域先进技术评价课题组

2016年5月

目 录

CONTENTS

第一章	天然气水合物技术	1
第二章	深水油气地球化学勘探技术	10
第三章	深水油气测试技术	18
第四章	深水高精度地震勘探技术	26
第五章	海洋稠油开采技术	34
第六章	滩浅海油田深度勘探技术	41
第七章	滩浅海致密低渗油气挖潜技术	50
第八章	油气层的识别技术	58
第九章	海洋油气井测井技术	65
第十章	深水钻完井工程关键装备技术	73
第十一章	精细钻井技术	82
第十二章	钻井平台设计制造技术、水下生产系统设计制造技术	90
第十三章	深水工程建设与关键工程装备技术	102
第十四章	海洋油气开发钻完井工程安全评价保障与救援技术	110

第十五章	大洋海底地球化学探矿技术与装备	117
第十六章	海洋矿产探采作业船水面支持系统相关技术与装备	125
第十七章	海底多金属矿藏选冶技术	134
第十八章	海洋原位生物探针技术	141
第十九章	海底取样样品保存、分析测试技术	150
第二十章	深海原位探测技术与装备	158
第二十一章	大洋海底表层定点、可视及保真取样技术与装备	165
第二十二章	绿潮监测与应急处理技术	174
第二十三章	生态环境遥感信息数据同化技术	181
第二十四章	海洋能分布评价	187
第二十五章	海上风能发电技术	191
第二十六章	盐差能发电技术	200
第二十七章	水下长距离数字声通信技术	209
第二十八章	蓝绿激光通信技术	219
第二十九章	深海网络信息传输与管理	226
第三十章	水下小型核反应堆供电技术	233
第三十一章	压裂船设计制造技术	241
第三十二章	耐压舱焊接技术	249
第三十三章	深海微生物高压培养技术	256

第一章 天然气水合物技术

1 技术概述

天然气水合物是一种资源量巨大的新型替代能源,它广泛分布于海洋、极地冻土带和陆地冻土带,天然气水合物的开发通过钻探取样来确定资源量,并通过水合物开采技术获得甲烷气体,开采之前涉及水合物钻完井技术。目前水合物开采多在陆域冻土区,且只有俄罗斯进行了商业化开采。国内对于海洋天然气水合物的研究还处在资源量评价和实验室研究过程中。

2 论文产出分析

论文检索式: TS = (“gas hydrate” OR “methane hydrate” or “gas hydrates” or “methane hydrates”),时间截止至 2015 年 12 月 31 日。

2.1 主要国家、机构与作者

表 1-1 天然气水合物技术主要国家论文产出情况简表

国家	论文数量排名	论文数量(篇)	论文数量占世界的比(%)	篇均被引频次(次)	被引次数所占比(%)
美国	1	1 582	25.54	24	39.65
中国	2	1 076	17.37	7	8.14
日本	3	685	11.06	12	8.42
加拿大	4	514	8.30	21	11.00
德国	5	443	7.15	25	11.21

表 1-1 给出了主要国家论文产出情况简表,由表 1-1 可见,美国相关论文 1 582 篇,排名世界第一位,篇均被引频次为 24 次。中国相关论文 1 076 篇,排名第二位,篇均被引频次为 7 次,排名落后于美国、加拿大、日本以及西欧等国家。日本相关论文 685 篇,

排名第三,篇均被引频次 12 次。加拿大和德国分别列在总数的第三位和第四位,但保持了较高的篇均被引频次。美国、中国与日本的发文数量占总数的一半以上,但美国、加拿大与德国的论文被引次数超过总数的 60%。

表 1-2 天然气水合物技术主要机构论文产出情况简表

主要机构	论文数量世界排名	论文数量	论文数量占世界比重(%)	篇均被引频次(次)
美国地质调查局	1	198	3.20	25
中国科学院广州能源所	2	151	2.44	11
美国科罗拉多矿业大学	3	120	1.94	21
德国不莱梅大学	4	112	1.80	34
中国科学院广州天然气水合物研究中心	5	104	1.68	10

根据论文产出情况,针对主要机构和主要科学家,给出了主要创新资源的分布情况。表 1-2 为论文数量世界排名前 5 位的主要机构列表,分别为美国地质调查局、中国科学院广州能源所、美国科罗拉多矿业大学、德国不莱梅大学和中国科学院广州天然气水合物研究中心。中国与美国各占两席。值得注意的是在篇均被引频次方面,美国地质调查局为 25 次,不莱梅大学为 34 次,与其他机构相比保持绝对领先。

表 1-3 天然气水合物技术主要科学家产出情况

主要科学家	论文数量排名	论文数量	论文数量占比(%)	篇均被引频次
A. H. Mohammadi	1	106	1.71	14
李小森	2	101	1.63	12
E. D. Sloan	3	82	1.32	27

表 1-3 给出了论文数量排名前三位的主要科学家论文产出情况简表。A. H. Mohammadi 南非夸祖鲁纳塔尔大学研究人员,主要从事天然气水合物生产模型研究。E. D. Sloan 是美国科罗拉多矿业学院水合物研究中心负责人,是国际上最著名的天然气水合物研究专家之一。在过去的 20 年,他领导的在水合物研究实验室,为工业解决了水合物管道流动的安全问题,研究了管道内形成水合物的基本的物理、化学和工程问题,在水合物能源、工业技术、环境影响以及气候改变等方面也取得了丰硕成果。除此之外,他们还发明了动力学抑制剂、发表了 H 型水合物的相图和甲烷水合物的相图,以及两种 I 型水合物的形成,客体分子混合可以形成 II 型水合物等多种水合物的重要性质。目前 E. D. Sloan 是国际 CODATA 水合物工作组主席,中国科学院广州天然气水合物研究中心的国际顾问。李小森为中国科学院广州能源研究所研究员、博士生导师,中国科学院“百人计划”项目引进人才。主要从事天然气水合物基础,开采技术及环境影响和相关的控制技术、二氧化碳的捕集与封存技术;基于水合物结晶的新型技术;油气工业中的气体水合物;工程热力学等。共承担了国内外主要研究项目 20 多项,作为项目负责人主持有国家 863 计划项目,国家自然科学基金,国家杰出青年基金,中科院“引进国外杰出人

才(百人计划)”项目,中科院重大装备研制项目,广东省自然科学基金,广东省科技计划项目等。

2.2 发文趋势

图 1-1 给出了天然气水合物技术论文发表趋势图。发文总体呈现上升趋势。美国自 2000 年以来,发文量呈缓慢上升趋势,年均发文量在 100 篇左右。中国自 2000 年以后论文数量急剧增加,目前仍存在上升趋势。可以说 2011 年之后,总发文量的贡献来自于中国。

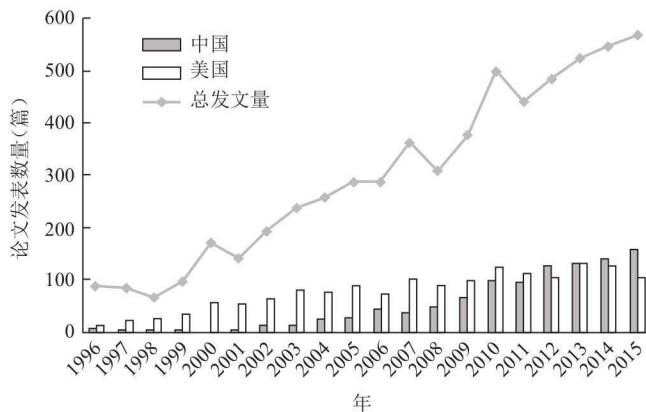


图 1-1 天然气水合物技术论文发表趋势

2.3 研究起源

研究中通过共被引文献分析研究基础。分析中,选取天然气水合物技术被引频次最高的前 50 项论文,两两配对,生成共被引网络,如图 1-2 所示。节点的大小代表被引的次数,线的粗细程度代表共被引的次数。其中图 1-2 以发表年代为 y 轴,绘制了时间轴图谱。

1934 年 Hammerschmidt 发现在天然气输送管道内生成的天然气水合物(NGH)会严重堵塞气体管道后,NGH 才开始引起石油专家们的注意,当时他们的主要注意力放在了预报水合物在管道中的形成和如何消除管道阻塞的办法。20 世纪 50、60 年代开始,认识到天然气水合物存在的巨大的能源效益,开始对天然气水合物的形成、探勘、成藏开始研究。

2.4 研究热点

研究热点分析中,采用了加权直接引用分析方法进行施引文献网络构造。加权直接引用,指对每个引用中如果涉及耦合引用和共被引引用,则对直接引用进行加权。对 6 196 篇文献进行加权引用分析,选择加权直接引用大于 20 的节点,进行网络绘制。再进行组分提取分析,选择网络节点个数大于 20 的节点网络。共提取出两个主要组分。组分 1 包括 134 个节点,组分 2 包括 70 个节点。每个组分的聚类结果分别显示在图 1-3 和图 1-4 中。为了更好的显示聚类结果,在图 1-3 中,节点的大小进行了统一。

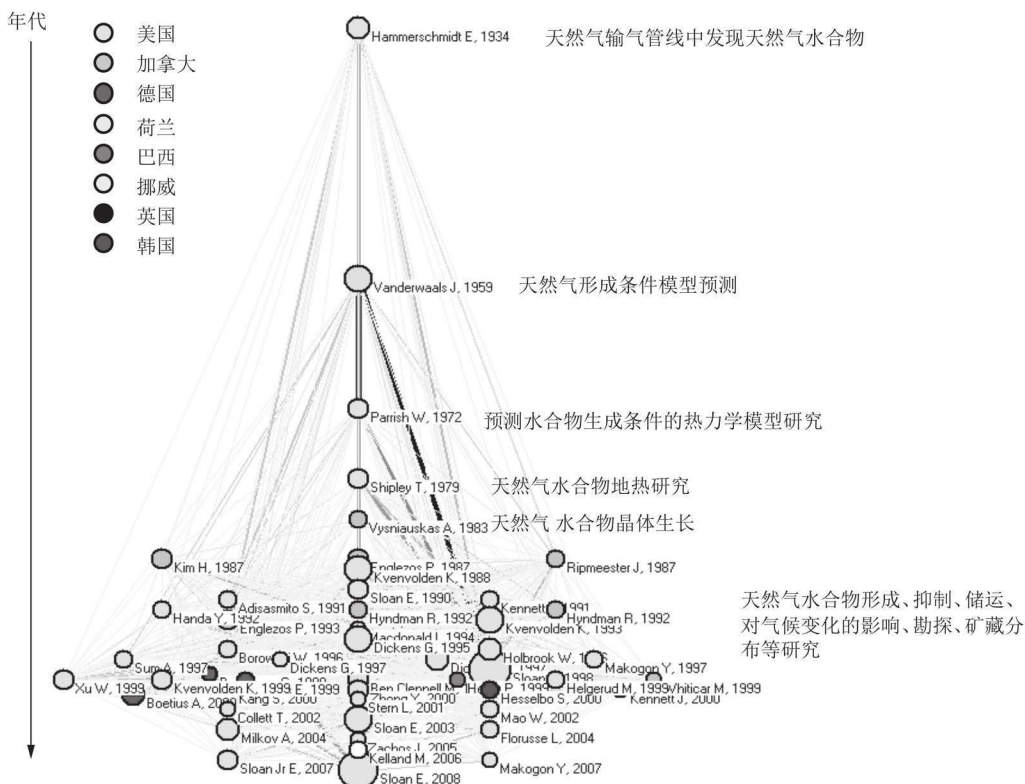


图 1-2 天然气水合物技术高被引论文时间轴分析

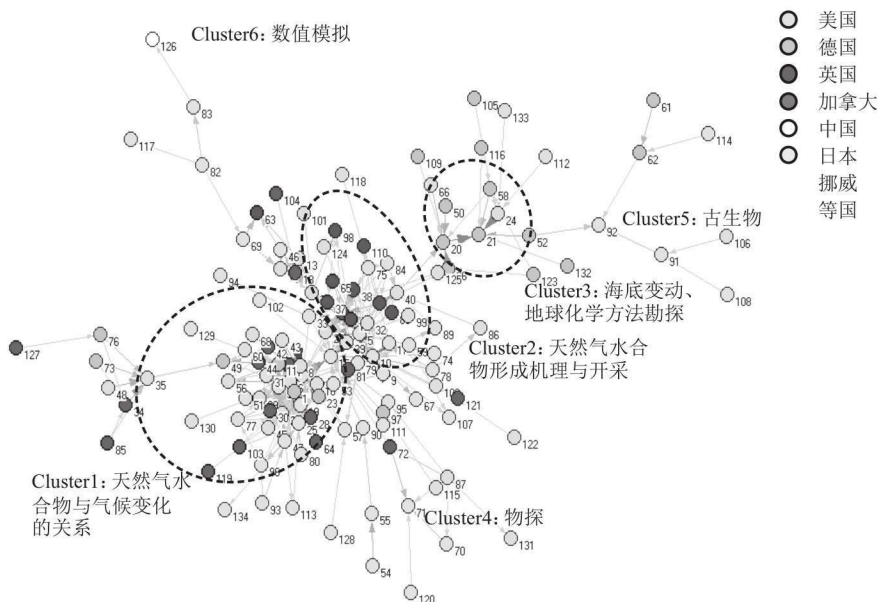


图 1-3 天然气水合物技术加权直接引用网络主要组分

图 1-3 显示了加权直接引用网络中最主要的组分。根据节点连接的紧密程度,可以分为六类。聚类 1 为天然气水合物与气候变化之间的关系;聚类 2 为天然气水合物形成机理与开采;聚类 3 为天然气水合物与海底变动之间的关系以及地球化学方法勘探;聚

类4为物理探测方法;聚类5为古生物与天然气水合物的关系。为特别分析中国情况,增加了聚类6的4个文献,其中包括一篇中国文献。也只是组分1中唯一的一篇中国文献,研究的是天然气水合物数值模拟。可以看出,在目前的研究热点中,美国除了聚类3的内容较少涉及外,其他热点广泛参与。加拿大侧重于天然气水合物的形成和开发研究,与研究基础一致。德国在聚类3中具有独特优势。

图1-4显示了加权直接引用网络中的次要组分,包括70个节点。根据节点连接的紧密程度,可以分为3类。聚类1为天然气水合物的封存储运,聚类2为天然气水合物抑制剂的研究;聚类3为天然气水合物热力学研究。在组分2中,美国的研究相对较少。加拿大、中国及法国、韩国等更侧重于天然气水合物的封存和储运。

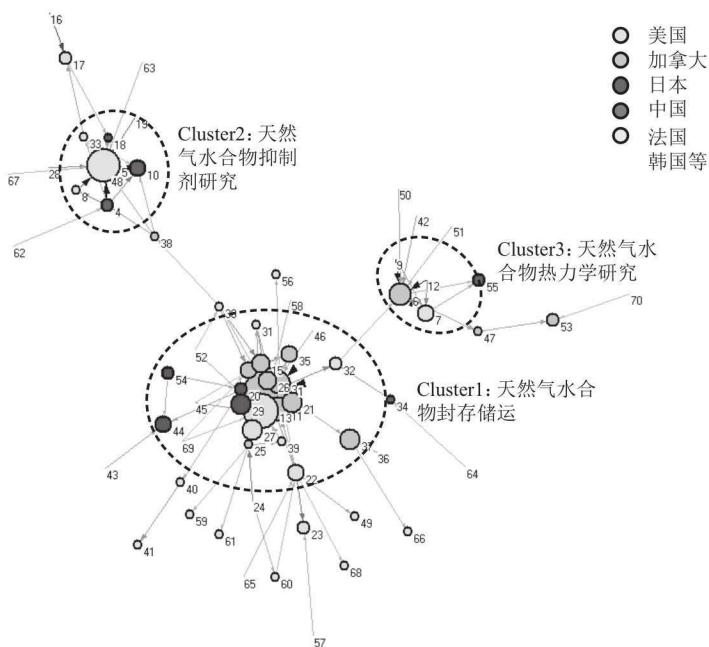


图1-4 天然气水合物技术加权直接引用网络次要组分

3 专利产出分析

根据专家提供的关键词与分类号,进行专利检索,时间截止至2015年12月31日。检索式为:SSTO = (“gas hydrate” OR “methane hydrate” or “gas hydrates” or “methane hydrates”) or (IC = (C10G000200 or E21B04300 or E21B04316 or F17C00000) and TAB = (“gas hydrate” OR “methane hydrate” or “gas hydrates” or “methane hydrates”)),共检索2 852条专利,836条DWPI专利家族,其中发明专利805条。

3.1 主要国家、机构与发明人

表1-4给出了主要国家专利产出情况简表,由表1-4可见,美国专利数量排名第一位,且占世界专利总数的39.76%。日本、中国、俄罗斯与德国分别排名第2、3、4、5位,其中美国PCT专利数40项,占世界比重的39.84%;中国PCT专利数量0项。

表 1-4 天然气水合物专利主要国家专利产出情况简表

主要国家	专利数量排名	专利族数量(项)	专利数量占比(%)	PCT 专利数量(项)	PCT 专利数占比(%)
美国	1	312	38.76	40	38.84
日本	2	137	17.01	5	4.85
中国	3	68	8.44	0	0
俄罗斯	4	45	5.59	1	0.97
德国	5	44	5.47	11	10.67

表 1-5 给出了主要机构专利族数量、专利布局、主要发明人、专利申请持续时间,以及近三年来专利申请所占比重,由表 1-5 可见,荷兰皇家壳牌公司相关专利族 120 项,排名第一位,专利布局在澳大利亚,并申请了 PCT 等,近三年来仍保持了一定的热度。排名第二位为美国雪佛龙股份有限公司,专利族 101 项,专利主要布局在美国,并申请了 PCT 专利,近年来申请热度较高。ISP 投资公司近 3 年来未再申请专利。

表 1-5 主要机构专利产出情况简表

主要机构	专利数量排名	专利族数量(项)	专利布局	主要发明人	专利申请持续时间	近三年申请专利占比
荷兰皇家壳牌公司	1	120	澳大利亚(28) PCT 专利(15)	Ulfert Corelis Klomp(69) Rene Reijnhart(22)	1996~2016 年	31%
美国雪佛龙股份有限公司	2	101	美国(22) PCT(19)	John T. Balczewski(68) Hugh Callahan Daigle(14)	2009~2016 年	59%
ISP 投资公司	3	86	美国(17)欧专局专利(16)	Kirill Bakeev(44) David Graham(33) Micheal Drzewinski(29)	1997~2010 年	0%

3.2 技术发展趋势分析

图 1-5 给出了天然气水合物专利申请趋势,总申请量在 2000 年之前呈现急剧增长态势,但在 2000 年后出现波段。总申请量的趋势与美国申请量的趋势基本一致。中国在 2004 年之前未申请相关专利,之后出现快速增长。目前专利的申请量,与美国基本持平。

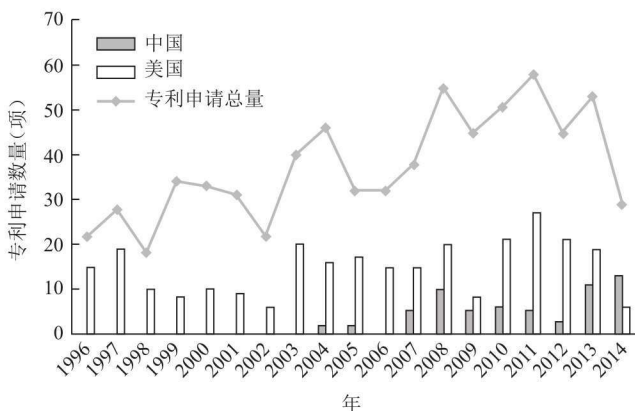


图 1-5 天然气水合物专利申请量变化趋势

行天然气水合物的资源特征、生产开发、对环境的影响、安全性和海底稳定性等方面的研究。

4.1 美国

美国水合物调查研究一直走在世界的前列,也是世界上水合物调查与开采技术研究最活跃的国家。目前正在进行阿拉斯加冻土区水合物试开采和墨西哥湾深水区水合物勘探及开采计划,墨西哥湾深水水合物分解可能带来工程地质灾害和环境评价技术的研究正在进行,已经在海底水合物区布置了原位监测装置,2015 年商业性开采计划正在紧张部署中。

4.2 加拿大

加拿大在 20 世纪 70 年代就开始了陆地冻土带水合物调查研究。2008 年,在 Mallik 地区进行了降压与注热联合开发的试验并取得了成功,证明通过热注和降压法可以实现水合物的开发,是水合物开发利用史上的里程碑,为将来的长期试生产和最终商业开发利用奠定了基础。

4.3 日本

日本极为重视水合物资源调查和开发利用研究,是目前最先进的国家之一,处于国际领先水平。值得高度关注的是,日本水合物研究开发计划全面提速,目前进入了“二十一世纪水合物研究开发计划(MH21,2001~2016 年)”发展计划的第三阶段——商业开采阶段,主要开展深水水合物开发工程以及配套安全评价技术研究,具备商业开发的技术能力,完成商业开发,计划 15 年内实现商业性开采。

4.4 韩国

1996 年,韩国矿产能源部开始研究水合物。目前,韩国汉阳大学等通过观察多孔介质中水合物的压力和阻力建立水合物开采模拟实验装置,进行了多孔介质中水合物合成和降压、加热、注化学剂等各种分解实验研究,在开采实验模拟手段和数值模拟技术方面取得了初步成果,在二氧化碳置换开采海底水合物方面开展了大量数值分析工作,同时韩国正积极加入美国阿拉斯加水合物试采项目。

5 结论

(1) 美国、德国以及日本为技术领先国家,掌握核心技术,实现了冻土区天然气水合物试验性开采成功,并深入研究天然气水合物藏开采物理模拟和数值模拟技术。

(2) 中国天然气水合物技术起步较晚,但发展迅速,近年来发表的论文数量、申请的专利数量已超过美国,但在论文篇均被引频次、PCT 专利数量方面,5 方专利数量、专利布局等方面较为滞后,与美国差距较大。

(3) 中国天然气水合物技术研究基础薄弱,目前的中国研究热点主要涉及天然气水合物模拟、天然气水合物封存与输运。但在天然气水合物与气候变化之间的关系、天然气水合物形成机理与开采、天然气水合物与海底变动之间的关系以及地球化学方法勘



探、古生物与天然气水合物的关系等研究热点上涉及较少。与美国、加拿大、德国、日本差距较大。在专利方面,中国的专利仍主要集中在数值模拟领域,而美国的专利则集中在天然气水合物封存与输运中的抑制剂研究、开发器械研究等。与美国差距较大。

(4) 天然气水合物资源技术基础研究创新资源主要集中在美国地质调查局、美国科罗拉多矿业大学、美国莱斯大学、美国加州大学圣克鲁斯校区、蒙特雷湾水族馆研究所、德国不莱梅大学等,国内主要集中在中国科学院广州能源研究所、广州天然气水合物研究中心等。技术研发主要集中在壳牌公司、雪佛龙公司、三井造船。中国的专利仍然主要集中在科研院所及部分石油公司。综上所述,目前技术领先国家为美国,中国与国际领先水平差距较大。