

前 言

天然气水合物（俗称“可燃冰”）被认为是能源革命中继“黑金（煤炭）国度”和“石油帝国”之后的“21 世纪最有希望的战略资源”，是“未来全球能源发展的战略制高点”。其属于非常规油气资源、战略性矿产资源、低碳清洁的新能源，但其贮存于深海或冻土区，开采的难度大、风险高，如何大规模商业化开发利用是一个世界性难题。

我国实施天然气水合物发展战略有助于实现能源独立，保障能源安全，优化能源结构，推进降碳减污，降低能源价格，促进经济发展。天然气水合物发展战略的实施涉及能源、矿产资源、地球科学、环境科学、安全生产、产业经济、法律政策等多领域多学科的知识与问题，实现对天然气水合物的商业化规模化开采，尚需大力发展勘探开采科学技术、提升技术装备水平以及防控勘探开采的安全与环境风险，这既需要科技支撑，也需要完善法律政策予以保障。本书主要有以下五大部分内容。

一是全球治理与天然气水合物发展战略。本部分主要阐述天然气水合物的概念与特点、天然气水合物发展战略的内涵与意义，以及在全球治理视域下阐述天然气水合物发展战略与全球能源治理、全球气候治理、全球海洋治理的耦合关系，为进一步分析研究天然气水合物发展战略的法律保障机制提供基础。

二是天然气水合物发展战略法律保障机制的理论逻辑与目标体系。法律制度是战略实施的重要保障，能够为能源开发利用提供明确的行为指引和制度约束。构建具有科学性、合理性、完整性、体系化的发展战略法律保障机制，是推动天然气水合物产业健康发展的制度基石。本部分主要阐述天然气水合物发展战略法律保障机制的理论基础、多元目标与体系构建。

三是天然气水合物发展战略的科技创新法治保障。创新驱动理论强调，应通过法律制度激励科技创新，法律法规体系构建是天然气水合物发展战略科技创新法治保障的核心内容。本部分主要对天然气水合物科技发展规划制度、科技项目管理与技术标准制度、科技协同创新制度等进行分析论述。

四是天然气水合物发展战略的产业促进法治保障。天然气水合物属于非常规天然气，其在研究阶段以及开采生产初期投入大、成本高，需要在产业规划、财政、价格、税收、金融、产业用地用海等制度上予以支持。本部分重点对天然气

水合物产业发展规划制度、天然气水合物产业发展的财税价格支持制度、天然气水合物产业发展的金融支持制度和天然气水合物产业发展的用地用海保障制度进行了深入研究。

五是天然气水合物发展战略的风险规制法治保障。本部分对天然气水合物勘探开发的风险进行了类型化分析，针对天然气水合物勘探开发的生态环境风险，分别从公共规制、私人规制、综合规制的路径，论述了相关的法律制度；针对天然气水合物勘探开发的安全生产风险，提出了相应的制度建议。

在相关研究基础上，本研究提出了天然气水合物立法的制度设计方案，试拟了“《中华人民共和国天然气水合物条例》”（立法建议稿）。本研究综合运用了法学、管理学、地球科学、海洋科学、环境科学等多学科知识，是开展跨学科研究的一个探索。

衷心感谢科学出版社的周杰老师、祁惠惠老师及其他编辑老师在本专著出版过程中付出的辛勤劳动与提供的专业审校支持，为本专著的顺利出版奠定了坚实基础，在此谨致以最诚挚的谢意。感谢有关文献与资料的提供者。

天然气水合物发展战略的法律保障机制研究涉及多学科知识，部分资料是作者对英文文献的翻译整理。由于作者学识与水平有限，本研究的部分观点和内容可能存在疏漏之处，相关观点有待实践的进一步检验。其也将随着天然气水合物科学技术研究的不断深入以及天然气水合物商业化开发利用的加速而不断修正和完善，衷心期望广大读者不吝赐教和批评指正。

古小东

2025 年于广州白云山下

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 选题背景与研究价值	1
1.1.1 选题背景	1
1.1.2 研究价值	4
1.2 国内外相关研究的学术史梳理	5
1.2.1 国内相关研究梳理	5
1.2.2 国外相关研究梳理	9
1.2.3 总体评述	11
1.3 研究内容与重点难点	12
1.3.1 研究内容	12
1.3.2 重点难点	14
1.4 研究思路与方法	15
1.4.1 研究思路	15
1.4.2 研究方法	15
1.5 可能的学术创新与贡献	16
1.5.1 研究对象的创新	16
1.5.2 研究内容的创新	16
1.5.3 研究方法的创新	16
第 2 章 全球治理与天然气水合物发展战略	17
2.1 天然气水合物发展战略	17
2.1.1 天然气水合物的概念与特点	17
2.1.2 天然气水合物发展战略的内涵与意义	21
2.2 全球能源治理与天然气水合物发展战略	31
2.2.1 全球能源安全现状与治理特点趋势	32
2.2.2 天然气水合物发展战略与全球能源治理的目标路径耦合	34
2.3 全球气候治理与天然气水合物发展战略	39
2.3.1 全球气候变化形势与治理特点趋势	39

2.3.2	天然气水合物发展战略与全球气候治理的目标路径耦合	43
2.4	全球海洋治理与天然气水合物发展战略	46
2.4.1	全球海洋治理现状与特点趋势	47
2.4.2	天然气水合物发展战略与全球海洋治理的目标路径耦合	50
2.5	本章小结	53
第3章	天然气水合物发展战略法律保障机制的理论逻辑与目标体系	55
3.1	天然气水合物发展战略法律保障机制的理论逻辑	55
3.1.1	能源安全理论	55
3.1.2	庇古理论	57
3.1.3	新制度经济学产权理论	57
3.1.4	风险治理理论	59
3.1.5	可持续发展理论	60
3.2	天然气水合物发展战略法律保障机制的多元目标	61
3.2.1	保障能源安全建设新型能源体系	61
3.2.2	防控规制环境与安全风险	64
3.2.3	促进天然气水合物产业可持续发展	69
3.3	天然气水合物发展战略法律保障机制的体系构建	71
3.3.1	天然气水合物发展战略法律保障机制的碎片化分析	71
3.3.2	天然气水合物发展战略法律保障机制的体系化构建	81
3.4	本章小结	88
第4章	天然气水合物发展战略的科技创新法治保障	90
4.1	天然气水合物科技发展规划制度	90
4.1.1	天然气水合物科技发展规划的编制与组织实施	90
4.1.2	天然气水合物研究开发路线图的编制	99
4.1.3	天然气水合物科技发展资金的保障	105
4.2	天然气水合物科技项目管理与技术标准制度	112
4.2.1	优化天然气水合物科技项目管理制度	112
4.2.2	完善天然气水合物技术标准制度	121
4.3	天然气水合物科技协同创新制度	126
4.3.1	打造天然气水合物科技创新平台矩阵	126
4.3.2	优化天然气水合物科技公共平台共享机制	128
4.3.3	完善天然气水合物科技资料与实物样本汇交体系	129

4.4 本章小结·····	129
第5章 天然气水合物发展战略的产业促进法治保障 ·····	131
5.1 天然气水合物产业发展规划制度·····	131
5.1.1 将天然气水合物产业发展纳入国家中长期战略规划·····	131
5.1.2 天然气水合物产业发展规划的编制与组织实施·····	132
5.1.3 天然气水合物产业发展规划的评估与调整·····	135
5.2 天然气水合物产业发展的财税价格支持制度·····	136
5.2.1 天然气水合物产业发展的财政支持制度·····	136
5.2.2 天然气水合物产业发展的税收支持制度·····	146
5.2.3 天然气水合物产业发展的价格支持制度·····	149
5.3 天然气水合物产业发展的金融支持制度·····	151
5.3.1 天然气水合物产业发展的信贷支持制度·····	152
5.3.2 天然气水合物产业发展的债券支持制度·····	154
5.3.3 天然气水合物产业发展的基金支持制度·····	157
5.3.4 天然气水合物产业发展的保险支持制度·····	159
5.4 天然气水合物产业发展的用地用海保障制度·····	160
5.4.1 天然气水合物产业发展的用地保障制度·····	160
5.4.2 天然气水合物产业发展的用海保障制度·····	161
5.5 本章小结·····	163
第6章 天然气水合物发展战略的风险规制法治保障 ·····	165
6.1 天然气水合物勘探开发的风险类型化分析·····	165
6.1.1 生态环境风险的具体内涵与表现·····	165
6.1.2 安全生产风险的具体内涵与原因·····	168
6.1.3 生态环境风险与安全生产风险的区别和联系·····	169
6.2 天然气水合物勘探开发生态环境风险规制原则·····	170
6.2.1 现行法律制度难以有效防控规制天然气水合物勘探开发的 环境风险·····	171
6.2.2 “强风险预防原则”的确立·····	173
6.3 天然气水合物勘探开发生态环境风险的公共规制·····	175
6.3.1 明确“三线一单”制度的具体要求·····	175
6.3.2 完善环境影响评价制度的内容·····	177
6.3.3 确立最佳可行技术和最佳环境实践标准·····	178
6.3.4 实施全过程一体化监测监管制度·····	181

6.3.5	健全生态修复责任保证金制度	182
6.3.6	优化环境事故应急处置机制	183
6.4	天然气水合物勘探开发生态环境风险的私人规制	184
6.4.1	确立环境侵权的无过错责任原则	184
6.4.2	细化举证责任倒置规则	191
6.4.3	健全环境责任保险制度	192
6.5	天然气水合物勘探开发安全生产风险的规制	194
6.5.1	构建安全生产风险评估制度	195
6.5.2	健全安全生产责任制度	196
6.5.3	鼓励在生产中应用智能技术	197
6.6	本章小结	198
第 7 章	主要结论与建议	200
7.1	明确全球治理视域下天然气水合物发展战略的内涵价值	200
7.2	构建天然气水合物发展战略法律保障机制的目标体系	201
7.3	优化天然气水合物发展的科技创新法律制度	202
7.4	健全天然气水合物发展的产业促进法律制度	203
7.5	完善天然气水合物发展的风险规制法律制度	205
参考文献		207
附件		219
后记		228

第 1 章 绪 论

1.1 选题背景与研究价值

1.1.1 选题背景

1.1.1.1 能源安全与能源革命

能源是多年来全球关注的重点问题之一。2024 年 11 月 8 日，第十四届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议通过《中华人民共和国能源法》（以下简称《能源法》）。《能源法》是我国能源领域的基础性和统领性法律，其第一条明确了立法目的——“为了推动能源高质量发展，保障国家能源安全，促进经济社会绿色低碳转型和可持续发展，积极稳妥推进碳达峰碳中和，适应全面建设社会主义现代化国家需要”。在应对气候变化的新阶段，新一轮的能源革命蓬勃兴起，美国“页岩气革命”是一例证。2016 年 12 月，我国发布的《能源发展“十三五”规划》提出要“积极开展天然气水合物勘探，优选一批勘探远景目标区”，从而实现“多元发展，推动能源供给革命”；同时，把“天然气水合物探采”列为能源科技创新重点任务的“重大示范工程”。2017 年 5 月，我国首次海域天然气水合物（natural gas hydrates）试采获得成功，多项成果取得了重大突破，产气时长和产气总量都创造了世界纪录。天然气水合物（即“可燃冰”）于 2017 年 11 月 3 日获得国务院正式批准列为新矿种，并成为我国的第 173 个矿种；天然气水合物开发被纳入国家战略性新兴产业目录。2017 年 11 月，国土资源部（现自然资源部）明确以加快推进天然气水合物产业化进程为目标，研究制定天然气水合物资源勘查开发规划，建立天然气水合物技术标准规范体系，加强天然气水合物资源管理和政策支持。

2021 年 3 月发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》在第十五篇“统筹发展和安全 建设更高水平的平安中国”第五十三章“强化国家经济安全保障”第二节“实施能源资源安全战略”中提出要“增强能源持续稳定供应和风险管控能力，实现煤炭供应安

全兜底、油气核心需求依靠自保、电力供应稳定可靠”，并在“专栏 20 经济安全保障工程”的“油气勘探开发”中提出要“开展南海等地区天然气水合物试采”。2022 年 1 月，国家发展和改革委员会与国家能源局共同印发的《“十四五”现代能源体系规划》在“专栏 2 能源安全保障重点工程”的“油气勘探开发”中提出要“开展南海等地区天然气水合物试采”，在“十六、增强能源科技创新能力”的“实施科技创新示范工程”中提出“瞄准新型电力系统……天然气水合物等前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技示范项目”。上述法律和相关政策性文件为我国的天然气水合物发展战略指明了发展方向，提供了基本路径。

1.1.1.2 海洋高质量发展与海洋强国建设

21 世纪是海洋世纪。随着陆地资源的开发利用强度加大、生态环境约束趋紧，沿海国家或地区日益重视对海洋资源的充分开发与利用，发展壮大高质量的海洋经济是建设海洋强国的重要内容和途径（古小东，2022a）。2012 年，党的十八大报告明确提出，要“提高海洋资源开发能力，发展海洋经济，保护海洋生态环境，坚决维护国家海洋权益，建设海洋强国”；2017 年，党的十九大报告进一步提出“坚持陆海统筹，加快建设海洋强国”；2022 年，党的二十大报告强调要“发展海洋经济，保护海洋生态环境，加快建设海洋强国”，把海洋强国建设作为推动中国式现代化的有机组成和重要任务。

在地方海洋经济建设层面，为推动广东省海洋经济高质量发展，全面建设海洋强省，经广东省政府同意，广东省自然资源厅、广东省发展和改革委员会、广东省工业和信息化厅于 2019 年 12 月 20 日联合印发《广东省加快发展海洋六大产业行动方案（2019—2021 年）》，明确要“加快发展海洋电子信息、海上风电、海洋生物、海洋工程装备、天然气水合物、海洋公共服务六大产业”。天然气水合物产业被列为广东省重点发展的六大海洋产业之一。

1.1.1.3 天然气水合物的特殊属性

天然气水合物，因其为冰状物质且可燃烧，故俗称“可燃冰”，又因气体主要成分为甲烷，故也被称为“甲烷水合物”（methane hydrate）。此外，天然气水合物分布在海洋与陆域冻土两大类地质环境中，其中 97%~99%赋存于海洋，1%~3%赋存于陆域冻土区，因此现阶段天然气水合物的研究与开发主

要集中于海洋（海底）。

天然气水合物清洁、高效、储量大，被认为是21世纪全球最有远景的新能源，是“未来全球能源发展的战略制高点”。我国实施天然气水合物发展战略有助于推进实现能源独立（energy independence），保障能源安全（energy security），优化能源结构，实现降碳减污，降低能源价格，促进经济发展。同时，天然气水合物为非常规油气资源，相态不稳定，导致开采技术复杂且环境与安全风险高。目前，全球开展天然气水合物研究的国家超过40个，而发现其存在证据（包括实物样品和地质标志）的国家更是远多于前者，已达100余个。在天然气水合物领域，美国、日本、加拿大、韩国、德国和印度等国家开展了独立研发或联合攻关，进入了大规模发现阶段，部分国家进行了工业化钻探实验性开采。但是，相对于煤炭、石油、天然气等传统能源，天然气水合物研究的起步时间相对较晚，在开采、储存、运输等环节还有很多关键技术和难题需要攻克。目前为止，全球还没有任何一个国家在天然气水合物领域实现了商业化开发运作（米自为等，2018）。天然气水合物发展战略既涉及能源问题，也涉及海洋产业经济问题，同时还涉及生态环境、应对气候变化等问题，巨大的潜力与风险并存。

1.1.1.4 天然气水合物发展战略与全球治理的耦合性

全球治理是指“多元化、多层次的治理主体为了增进彼此利益而相互调试目标，共同解决冲突，协商合作地管理全球性事务的过程”（吕晓莉，2005），其“可以被看成全球化时代全球公共事务的管理方式”（王乐夫和刘亚平，2003）。在全球治理视域下，天然气水合物发展战略与全球能源治理、全球气候治理、全球海洋治理密切相关，且在目标路径上存在耦合关系。

1.1.1.5 天然气水合物发展战略法律保障的必要性

天然气水合物发展战略的实施涉及能源、矿产资源、地球科学、环境科学、安全生产、产业经济、法律政策等多领域多学科的知识与问题，实现对天然气水合物的商业化规模化开采，尚需大力发展勘探开采科学技术、提升技术装备水平，以及防控勘探开采的安全与环境风险。这既需要科技支撑，也需要完善法律政策予以保障。基于此，本研究拟在全球治理视域下对天然气水合物发展战略的法律保障机制开展研究。

1.1.2 研究价值

1.1.2.1 学术价值

一是对现行法律制度的全面检视剖析。针对天然气水合物这一极具特殊性的新矿种勘探开发利用之法律问题,我国已签署或加入的国际公约以及我国现行的相关法律是否可以适用以及应如何完善,需要进行分析研究。本研究拟对此进行检视和剖析,并提出完善建议。

二是比较视域下的经验借鉴。美国、加拿大、俄罗斯、日本的天然气水合物勘探研究都早于我国,印度、韩国也在紧跟。我国在南海海域率先实现了天然气水合物的成功试采,在该领域走在了世界前列,但我们仍需积极借鉴吸收国外的先进经验以持续推动技术创新,尤其是美国通过制定《2000年甲烷水合物研究与开发法案》(*Methane Hydrate Research and Development Act of 2000*)以及《2005年能源政策法案》(*Energy Policy Act of 2005*)第353节的“天然气水合物生产激励”(*Gas Hydrate Production Incentive*)条款,形成“研发与商业化”的政策协同,为后续天然气水合物开发的技术验证项目提供了法律与经济支撑。本研究旨在通过梳理美国、日本等国天然气水合物法律政策与实践的制度背景、内容特点与发展趋势,归纳其演进规律,为构建符合我国国情的天然气水合物管理制度提供可借鉴的经验与启示。

三是综合运用多学科知识,深化相关理论并完善制度内容。天然气水合物发展战略的法律保障机制是一个涉及多学科、多部门的问题,其具有特殊性,与相关科技类的天然气水合物资料相比较,目前社会科学类的天然气水合物资料相对欠缺,立法和决策管理的难度大。本研究拟综合运用法学、管理学、地球科学、海洋科学、环境科学等跨学科知识,对天然气水合物发展战略的法律保障机制进行研究,深化相关理论并完善相关制度。

1.1.2.2 应用价值

本研究主要具有以下两个方面的应用价值。一方面,研究成果可为能源、环境、海洋等领域的立法、管理与决策提供科学依据,从而保障天然气水合物发展战略的顺利实施,助力我国抢占未来能源战略制高点。另一方面,天然气水合物发展战略涉及清洁能源勘探开采、生态环境保护、气候变化应对、深海技术研发及海洋经济发展等多个领域,本研究的应用有助于协同推进节能减排、绿色发展、生态文明建设与海洋强国建设,促进经济社会与资源环境的可持续发展。

1.2 国内外相关研究的学术史梳理

1.2.1 国内相关研究梳理

1.2.1.1 天然气水合物的早期研究

我国对天然气水合物的关注始于20世纪80年代,有学者开始关注到美国、加拿大、苏联等国家正在加紧研究的新型能源天然气水合物(夏之秋,1986)。早期研究主要集中于自然科学和工程科学技术领域,尤其是构造地质、地球物理、地球化学、海洋科学等领域,为天然气水合物的勘探、特征、分布、储量、资源评价、环境影响、开采技术等提供了重要的科学依据和基础支撑。同时,学者意识到天然气水合物的巨大能源潜力与环境挑战并存(孙成权和朱岳年,1994);相关研究发现我国南海北部海域很可能存在天然气水合物(姚伯初,1998)。

1.2.1.2 天然气水合物的成藏理论、资源勘探等科学研究

天然气水合物属于非常规油气,有学者以非常规油气的勘探开发为研究视角,或介绍非常规油气的概念、特征、潜力及技术(邹才能等,2013b),或就其勘探开发进展与前景提出看法(张大权等,2015);部分学者系统梳理并介绍了天然气水合物的科学知识,包括其成藏模式、特征、勘探开发、潜在发现等(刘玉山等,2017;宁伏龙等,2020)。

不同学者在不同阶段对我国总体天然气水合物资源的勘探现状进行了总结,肯定了我国的天然气水合物资源潜力(姚永坚等,2007;李小森,2008;皮光林等,2018;祝有海等,2021);或总结了海洋天然气水合物成藏系统研究的进展及发展方向(雷裕红等,2021);或研究了双向海底反射层与天然气水合物成藏关系(张伟等,2020)。也有学者研究认为,天然气水合物的含量及其赋存形态是影响储层特性的主要因素(刘昌岭和孙运宝,2021)。

我国海域天然气水合物的勘探研究主要关注我国南海地区和国内外的相关实践进展,包括测井、钻井、取样、试采技术和勘探策略等方面(刘玉山等,2013;周建等,2020;何家雄等,2020,2022;任红,2020;孙金声等,2021;胡敏芝等,2021)。陆域天然气水合物的勘探研究集中于冻土区,冻土区是天然气水合物发育的两个重要地质环境之一,研究集中在青藏高原地区冻土层天然气水合物的形成、特征、分布与勘探开发技术等方面(陈多福等,2005;常

华进等, 2012; 王佟和王庆伟, 2012; 付亚荣等, 2018; 王志远等, 2021; 张富贵等, 2021)。

1.2.1.3 天然气水合物的开采利用等技术研究

目前, 天然气水合物的商业开发存在一定的关键技术挑战。天然气水合物的开采技术主要有热力开采法、固态流化开采法、降压法 (depressurization)、分解促进剂注入法、置换开采法等, 大多数研究集中于前述开采技术的研究与应用进展及存在的问题, 相关研究建议持续突破关键技术, 加大科技融合与交流, 建立健全天然气水合物的相关标准 (赵治宇等, 2009; 王屹和李小森, 2013; 张焕芝等, 2013; 张旭辉等, 2014; 赵克斌等, 2021; 李清平等, 2022); 亦有学者从天然气水合物的开采技术专利入手, 梳理了我国天然气水合物开采技术的发展趋势, 总结了优势和短板 (罗玮玮, 2019)。

部分学者聚焦于某一技术的研究并对其进行实验测评。孔令峰等 (2019) 借鉴煤炭地下气化技术理念, 提出了海域天然气水合物商业开发构想; 韦昌富等 (2020) 探讨了水合物开采过程所涉及的关键土力学问题, 以实现水合物安全、高效开采; 闫柯乐等 (2020) 研发了性能优良的水合物动力学抑制剂; 王平等 (2021) 研究发现合理地将表面活性剂复配以及选取气液比, 可显著提高水合物生成速率与储气能力; 卓鲁斌等 (2021) 以实验形式评估了水平井长度对天然气水合物藏降压开采效果的影响; 黄满等 (2022) 提出了构建以水力压裂为主、近井改造为辅、化学改造为补充的水合物储层改造理论和技术体系; 李楠等 (2016) 研究提出, 应持续发展天然气水合物储层改造与保护技术、天然气水合物储层钻完井技术、井下气水快速分离技术与装备、提高水合物开采能效技术等关键技术; 付强等 (2020) 对降压和固态流化法两种试采模式涉及的关键技术和工艺进行了分析, 提出了适合我国储层与装备技术的海洋天然气水合物开采的发展思路及对策建议。

李淑霞等 (2020) 和秦绪文等 (2022) 探讨了影响天然气水合物分解产气效率的相关因素, 以及南海天然气水合物开采储层的水合物相变与渗流机理; 刘一林等 (2022) 对冷泉、羽状流与水合物的联合探测作了定性分析; 刘乐乐等 (2020) 对分形理论在水合物研究领域的应用情况进行了总结。

1.2.1.4 天然气水合物的开发前景与策略研究

在不同时期, 不同学者结合相关科学技术与实践的发展, 对天然气水合

物开发利用面临的问题及应对策略提出了自己的看法。在相对较早时期,有学者研究认为,天然气水合物研究存在调查研究程度较低、技术装备比较落后等问题(张洪涛等,2007);有学者从天然气水合物的认识、资源量、开采技术和相关技术等方面提出应对策略(樊栓狮,2007);也有学者结合国际国内发展趋势,认为天然气水合物开发存在国内国外双重背景,以新能源替代化石燃料和核燃料为特征的世界能源转型正快速推进(周平等,2017)。近期也有学者预测认为,天然气水合物不太可能成为未来的主要能源(庞雄奇等,2023)。

2017年5月,我国在南海神狐海域的天然气水合物试采获得重大突破,有学者认为天然气水合物是继美国“页岩气革命”之后由我国引领的新一轮“天然气水合物革命”,可燃冰产业将迎来黄金期(东南海,2017)。另有学者指出,天然气水合物发展受基础理论认识、关键核心技术、具体开发方案、开采成本、安全环保等方面的制约,难以实现规模化商业化开采(宋广喜等,2013);也有学者提出,天然气水合物藏开采在技术上可行,但距离产业化的大规模生产还有很大的距离(庞维新等,2022)。此外,有学者对天然气水合物的商业化开采瓶颈进行了研究,并提出了天然气水合物开发要探求更经济的途径(付亚荣,2018)。

全球能源安全出现新特征、新变化和新挑战(苏俊等,2020;余国和张鹏程,2023),我国正坚定不移地推进能源革命,开发天然气水合物是我国可持续发展战略和能源发展战略的重要选择(刘华军等,2022;魏纳等,2022;郭焦锋,2013)。有学者分析了天然气水合物含油气系统的研究进展、存在问题和发展趋势,并系统总结了当前国内外水合物藏增产研究现状(孙嘉鑫等,2021;谭富荣等,2021)。

1.2.1.5 天然气水合物法律政策研究

国内天然气水合物法律政策研究起步较晚,文献相对较少,大多数研究的关注重点是如何建立专门的法律制度和应对环境风险。当前,国内天然气水合物尚未进入大规模开采阶段,其开采利用不仅可能诱发地质灾害、加剧温室效应、破坏生物多样性,更可能造成难以界定的跨界环境损害,存在权属争议和成本高昂的商业化风险,缺乏专门的环境资源法律进行规制(张晏琯和刘鑫怡,2020)。

有学者在梳理现有环境资源法律的基础上,提出需要对现有环境资源法

律制度进行解释并拓展其适用范围,在现有法律规定中增设天然气水合物开发利用的专项内容,建议专门立法,厘清权属制度、层次化适用环境影响评价(environmental impact assessment, EIA)制度和针对性适用环境公众参与制度,并构建多元共治的体系,针对性地构建与完善天然气水合物开发环境风险规制法律体系,建立可燃冰开发监管法律制度框架,完善天然气水合物的相关立法(刘超, 2017a, 2017b; 杨祎祺, 2019; 毛韞萦, 2019)。有学者以海底可燃冰开发环境风险法律规制的法理与制度作为研究对象,介绍了可燃冰开发的中国方案开发现状与进展,针对可燃冰开发的环境风险、从管制到治理的路径转向、交易费用制度安排、自然资源产权制度、开发环境风险多元共治路径等进行了研究(刘超和王康敏, 2021)。

另有学者借用交易成本理论研究可燃冰开发中的生态环境保护政策(王倩, 2019);有学者提出建立海底天然气水合物开采的事前、事中及事后监督监测机制的构想(王晓萌等, 2018);也有学者从财税激励的角度建议对天然气水合物的勘探开发进行扶持(马荣卿, 2013; 黄德林和谷宇宙, 2014)。天然气水合物主要分布在深海,关于深海海底矿产资源勘探开发的立法研究可以为天然气水合物法律制度的构建提供参考(王虎华和翟仲, 2022; 张梓太等, 2023)。

1.2.1.6 美国、日本等国家天然气水合物法律政策研究

有国内学者重点关注了美国、日本等国家天然气水合物法律政策的研究。有学者对美国的天然气水合物研发计划及其政策效益进行了研究(莫杰等, 1999; 陈多福等, 2003; 王亚娟等, 2013);有学者对日本的天然气水合物勘探、开采和开发技术发展进展及其经验进行了研究,认为其在系统部署、严密组织管理、严谨实施、规范流程制定、成果发布宣传等方面值得我国学习和借鉴(梁慧, 2014; 张炜等, 2017a, 2017b, 2023; 张涛等, 2021);有学者对日本能源安全法律政策、日本能源安全的出路困境等问题进行了研究(吴志忠, 2008; 冯昭奎, 2013);有学者关注俄罗斯、极地地区的天然气水合物勘探开发及其对气候、海洋环境和生物的影响(杨明清等, 2018; 王平康等, 2014; 聂云峰等, 2018);也有学者对全球天然气水合物的开采进度、开发现状与计划进行分析归纳,总结了相关经验并提出了中国的应对方案(罗承先, 2013; 陈建东和孟浩, 2013; 王力峰等, 2017; 杨智勇, 2017; 王淑玲和孙张涛, 2018)。

1.2.1.7 石油天然气、页岩气等相关能源法律研究

天然气水合物属于非常规油气能源,我国常规油气以及能源法律政策研究的基础性原理与制度适用于天然气水合物。于文轩(2014)对我国石油天然气立法进行了系统研究,在法规体系、监管体制和法律机制等方面为石油天然气立法提供了理论支撑与制度设计;周永强等(2020)剖析了我国天然气行业在资源获取、输送、储存、销售、价格方面存在的问题,以及我国天然气法律法规体系及相关制度建设存在的问题,并提出了立法框架、制度建议及法律草案(建议稿);董秀成等(2016)从国内外能源市场的环境和变化趋势出发,结合我国现状,研究了我国能源供需格局存在的问题,提出了我国能源总体保障的战略构想;赵庆寺(2012)从能源立法与能源安全之间的价值契合与功能联结出发,对美国能源立法与能源安全战略的向度和限度进行了分析研究。

页岩气与天然气水合物同属于非常规天然气,清洁、储量大,且技术要求较高。页岩气发展战略与法律政策研究在国内外已有较为系统的研究成果,可以为我国的天然气水合物发展战略与法律政策的制定提供较好的参考。刘超(2019)针对页岩气开发环境风险法律规制、页岩气开发土地侵害法律责任制度、页岩气开发环境损害第三方治理制度、页岩气特许权制度困境、页岩气矿业权行使之冲突应对与联营规则等问题进行了研究。万丽丽(2021)对美国页岩气开发的法律调控模式进行了综合分析和研究,具体包括美国的页岩气开发政策立法、产权调整机制及利益关联方的保护、行政管制机制、经济激励机制、社会监督机制等。刘小丽等(2016)对我国页岩气开发的环境影响评价和监管制度进行了研究。于立宏等(2017)对页岩气开发的能源结构效应、经济效应、矿业权配置、政府规制等内容进行了深入分析,并据此构建了中国页岩气开发的政策体系。李博抒(2017)系统介绍了页岩气发展的国际实践与中国式路径。林珏(2017)分析介绍了世界各国的页岩气发展战略。

1.2.2 国外相关研究梳理

1.2.2.1 天然气水合物资源及其研发计划与技术研究

有学者指出,天然气水合物是一项颇有前景的能源资源。天然气水合物开采应重点关注经济性和生态问题。经济性和生态问题都取决于开采技术。

最重要的问题是找到高效的技术，将天然气从固态转化为气态。天然气水合物的研究必须在全球范围内进行协调，这将加快技术发展（Makogon, 2010）。其他学者亦持类似观点，认为天然气水合物是一种潜在的大型甲烷资源，但其勘探项目花费巨大，短期回报不确定，需要全球通力合作来试验天然气水合物作为一种资源的潜力，即国家之间的深度合作、政府的强力支持，以及政府与学术研究机构的协同领导。即使经过更多的研究，在确定天然气水合物区块、评估资源规模、开采可行的生产策略以及在整个天然气供应背景下理解开采天然气水合物的商业性方面，可能仍然存在关键的挑战（Ruppel, 2011）。

有学者对加拿大的天然气水合物研究进行了介绍，同时指出，对天然气水合物能源最感兴趣的是那些国内常规碳氢化合物储量有限的国家，如日本、韩国和印度。如果有供应安全保障，即使是高成本的国内能源也对这些国家有吸引力。许多其他资源的经济开采技术研发需要多年时间，焦油砂（tar sand）就是一个例子。技术解决方案有时来得很快，有时则需要很多年。天然气水合物是一种极具开发潜力的资源，其需要一些非常聪明的人用新的想法来找到解决方案（Hyndman and Dallimore, 2001）。

有学者对日本甲烷水合物的研发计划进行了介绍（Masuda et al., 2010）。也有学者对天然气水合物储藏的甲烷开采方法之最新研究进展进行了详细探讨，并提出降压与热刺激相结合是一种可行的甲烷开采方法。但从经济和环境两个角度综合考虑，目前还没有一种可持续的甲烷开采方法。一些油田的生产运行已经取得了积极的成果，但需要进行全面的调查和科学合作，以确定天然气水合物储藏的可开采性（Gajanayake et al., 2023）。

1.2.2.2 天然气水合物开发法律研究

有学者研究指出，海上天然气水合物具有巨大的能源供应潜力，但其开发伴随着对环境、海洋动植物和邻近人类社区的显著风险和危害，其中一些新的风险包括灾难性的温室气体排放水平、海底滑坡和海啸。因此，重要的是对可能适用于此类风险的现有法律和公约进行审查，审查它们有效管理这些风险的能力，并基于现行法律和公约对海上天然气水合物风险处理的不足进行完善（Partain, 2015a）。解决阻碍海上天然气水合物商业开发的问题，并确保其开发的可持续性，是一项艰巨的挑战。然而，除非直面并解决这些法律和政策的挑战，不然这些可识别的风险可能会演变成危害，并且这些危害所引发的环