

System Analysis and Risk Measurement on
Foreign Petroleum Investment Environment of China
Theories, Models and Applications

.....

海外石油投资环境 系统分析和风险测度 理论、模型及应用

穆献中 胡广文/著



科学出版社

国家自然科学基金研究项目(71273021)成果

System Analysis and Risk Measurement on
Foreign Petroleum Investment Environment of China
Theories, Models and Applications

.....

海外石油投资环境 系统分析和风险测度 理论、模型及应用

穆献中 胡广文/著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书基于目前海外石油投资环境研究的进展状况、存在的问题,围绕海外石油投资环境系统学认知的理论体系-方法模型-技术路径-具体应用这一主线,详尽阐述了海外石油投资环境的系统学内涵,构建了“四层塔形”理论架构和“人-机-交互”方法论体系。从区域实证角度,分析了非洲和拉丁美洲主要石油资源国家和地区投资环境的系统结构、区域演化特征,并进行了系统诊断。基于对海外石油投资环境的系统认识,对海外石油投资风险进行了识别、分析以及定量评估,并进行了非洲石油投资风险价值测度。最后依托国家自然科学基金项目完成“海外石油投资环境评价系统软件”的构建,并以附录的形式介绍了软件架构和部分计算模块程序代码。

本书旨在为各级涉外政府部门、海外油气投资领域从业者以及相关科研工作者提供科学决策和研究参考,拓展研究思路与方法。本书亦可供系统科学、石油工程、经济管理以及其他相关专业领域的研究生、大学生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

海外石油投资环境系统分析和风险测度:理论、模型及应用/
穆献中,胡广文著. —北京:科学出版社,2017.2

ISBN 978-7-03-051361-8

I. ①海… II. ①穆… ②胡… III. ①海外投资-石油投资-投资环境-研究-世界 IV. ①F416.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第316806号

责任编辑:李 敏 杨逢渤/责任校对:彭 涛

责任印制:肖 兴/封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年2月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年2月第一次印刷 印张:19 1/4

字数:388 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言 一

石油是一种不可自生且高度稀缺的自然资源，也是关系国家经济发展、能源战略实施的重要战略物资。20 世纪 90 年代以来，在中国经济发展和全球化进程加快的时代背景下，面对国内石油消费量逐年攀升、供需缺口日益扩大的实际问题，国家开启了“两个市场、两类资源”的“走出去”发展战略。在“走出去”发展战略实施的 20 多年时间里，国外石油的有效供给不仅缓解了国内石油资源短缺局面，也为中国经济全球化战略实施奠定了坚实的基础。在当前中国经济“提质增效、转型升级”的关键时期，海外石油稳定供应对于国民经济发展、人民安居乐业以及国家生态文明建设更是意义深远。

海外石油投资环境评价作为当今海外能源经济研究领域基础性研究工作和海外石油投资实施的重要抓手，在海外石油战略决策过程中一直起着举足轻重的作用。然而，多年形成的固有理论架构和传统指标优选、要素评价的方法论认知一直制约着海外石油投资环境研究体系的深度发展，尤其对要素的动态演化和投资环境的整体分析与研究一直是该领域研究的薄弱环节，在系统性、时效性以及区域针对性等方面很难适应当前高度复杂和不确定性的国际石油投资环境。与此同时，近年来海外石油投资环境研究向系统、复杂方向发展的趋势愈加明显，未来研究将更加侧重管理科学、技术经济、信息科学等多领域的综合交叉以及空间、时间维度的系统结构演化。因此，无论从现实需求还是未来趋势来看，都需要不同领域的专家学者从多视角、多维度、多学科交叉配合进行海外石油投资环境研究的理论探索和方法论体系创新。

该书作者曾长期在国内石油企业工作，近年来一直从事能源经济和系统模拟领域的研究，持续承担了该领域不同层次系列研究课题。作为其博士学习阶段导师，我也一直关注着他们的研究工作进展。当阅读完这本书稿之后，我认为书中基于系统科学和复杂性理论视角构

建的海外石油投资环境理论架构以及方法体系甚为新颖，可以说具有重要的理论创新性和学术先导性，所研制的投资环境系统分析软件也具有一定的实用与推广价值，书中选取非洲、拉丁美洲区域及重点国家开展的石油投资环境系统分析和风险测度实证研究具有一定代表性和较重要的实际意义。

我本人对作者多年来在能源经济研究领域持之以恒并不断取得进步表示欣慰和祝贺，也希望该书的出版对我国能源战略理论研究和方法论实践起到抛砖引玉作用，尤其希望该书的出版能对中国能源产业全球化发展和投资决策做出应有的贡献。

中国工程院院士

俄罗斯科学院外籍院士

国际欧亚科学院院士

中国社会科学院学部委员

李毅

2016年12月29日

序 言 二

石油是国民经济发展必不可少的矿产资源，在中国能源供需体系中占有重要的战略地位。改革开放以来，伴随我国经济的持续高速发展，对石油资源需求量逐年加大，石油供需矛盾日益突出；另一方面，伴随世界经济一体化发展和经济实力稳步提升，需要中国经济和产业布局进一步融入甚至引领世界经济发展大局。石油产业作为我国能源经济最重要的支柱产业，也是国家能源战略实施的核心所在，自然首当其冲走出国门，迎接挑战。

20 世纪 90 年代初，中国石油企业开启了“走出去”的发展历程。20 多年来，我本人作为参与中国石油海外战略布局、勘探开发投资项目具体实施的科技工作者，不仅见证了中国海外石油产业发展从无到有、从小到大、从弱到强的辉煌成果，也经历了不同时期、不同阶段、不同区域海外石油产业发展的曲折和困难，更是深切体会到了中国海外石油产业的系统性和综合性，牵一发而动全身，当然还有海外石油勘探评价、开发设计、投资决策、合作方式以及应对策略研究的复杂性和时效性。

近年来，伴随国家“一带一路”以及能源全球化战略的深化和实施，给海外石油产业战略选区、产业拓展和投资环境优化带来了诸多“正向”战略机遇和发展空间。与此同时，由于全球地缘政治、经济发展环境以及美国非常规“页岩”油气开发技术突破等外部要素交互影响，不仅引发全球石油供需格局的“翻转”和再洗牌，也使得全球石油产业出现了“风水轮流转”的外部不确定性发展态势。在这种发展机遇、结构紊乱以及外部不确定性并存的大环境下，海外石油产业发展出现诸多有待进一步深入研究的新问题和新领域，如投资环境系统性、投资决策时效性、合作方式多样性等，都需要涉足海外石油产业领域的从业者以及相关研究领域的专家学者潜下心来，跳脱传统理论视野和方法论局限，进行深入的理论研究和实践探索。

该书作者长期开展海外石油领域的投资环境研究工作，承担了国家自然科学基金、国土资源部、中国石油集团等不同层面的系列研究工作。我与作者结缘也是因参与评审和指导他们承担的海外石油研究课题，了解其在海外石油投资环境研究和实践探索方面有较深厚的学术认知，此书即是其多项研究课题工作成果的系统归纳。作者在书中提出的海外石油投资环境研究方法论和建模思路，具有一定的理论创新价值和实践指导意义，相信对海外石油产业布局、投资项目决策以及投资环境研究本身都具有重要的参考作用，也希望为国家海外石油产业全球化发展和能源战略决策做出贡献。

中国工程院院士
中国石油集团海外资深专家

王岐光
2016.11.27

前 言

伴随国家能源战略的全球化发展,中国企业走出国门,参与全球范围的能源产业竞合和战略博弈也逐渐成为一种必然和发展常态,在这种频繁的全球能源产业竞合和战略博弈中必须研究其投资环境动态变化和风险防范措施。特别是2008年以来,由于国际经济形势跌宕起伏,国际油价也经历了一个从“高位爬行”到“低位震荡”的发展历程,其中蕴含诸多错综复杂的全球地缘政治、国际经济环境、外交战略博弈以及能源科技等多方面的内外在因素影响,这也给中国石油产业海外发展和投资环境的动态评价带来了更多实际问题,需要有志于海外能源产业领域的投资者以及能源经济研究领域的专家学者进行深入的理论研究和实际探索。

近10年来,作者及其研究团队陆续承担了国家自然科学基金,国土资源部、国家开发银行、国家电网公司、中国石油天然气集团公司、中国节能环保集团等不同企事业单位的海外能源发展战略、海外资源优化配置建模以及世界主要区域油气投资环境评价等8项相关研究课题。经过这些年的探究,我们在海外能源产业发展以及投资环境评价方面积累了一定的理论认知和学术成果,期间也发表了20余篇学术成果论文,出版了2部学术专著,获批软件著作权1项,培养了6位以海外油气投资环境评价、投资风险分析以及期权博弈为学位论文选题的硕士和博士研究生,研究成果获得了教育部、北京市政府以及全国石油石化企业管理现代化创新优秀成果等5项省部级科技成果奖励。

本书是作者承担的国家自然科学基金面上项目《海外化石能源投资环境动态模拟和风险博弈研究》(批准号:71273021)的研究成果归纳和总结。首先,本书系统梳理了国内外能源尤其是油气投资环境研究的进展状况、存在的问题以及研究架构。在此基础上,作者试图围绕理论体系-方法模型-技术路径-具体应用这一主线,并系统阐述海外石油投资环境基础理论架构和方法体系,从区域实证角度构建世

界主要油气资源国或地区、不同阶段的油气投资环境评价方法模型和数据支撑体系，针对非洲和美洲地区等主要国家油气投资环境的系统特点、风险特征以及期权价值进行了探讨，最后系统介绍了依托国家自然基金项目编制完成的“海外石油投资环境动态模拟系统评价软件系统”框架结构及部分程序代码。

本书分四个部分，共8章内容及3个附录。

第一部分（第1~3章）系统阐述了本书的研究背景、国内外学术进展以及本书研究工作的切入点。在此基础上，对海外石油投资环境综合评价基本概念、理论内涵和系统特征进行了初步研究界定，以国际投资理论、区域经济学、能源经济学为理论基础，运用系统经济、工程经济、石油科学等方法论，辅之信息科学、“全生命周期”评价、实物期权等新兴交叉学科工具为分析手段，构建了海外石油投资环境研究的理论架构和方法体系。

第二部分（第4~6章及附录1），结合课题组实际研究成果，针对世界不同地区的具体情况，使用系统自组织、系统优化、熵增（减）理论、物元分析、灰色预测、期权博弈等多种方法理论构建了系统分析模型，并以非洲和拉美地区主要油气资源国为例，开展了海外石油投资环境的动态模拟、风险预测以及期权价值评估研究，其中部分内容是作者及团队成员的原创性研究工作，而非洲13个主要石油国家风险评价基础数值以及改进型的灰色关联度计算模型证明分别以附录1和专栏的方式给出。

第三部分（第7章、附录2和附录3），综合应用当代能源经济管理理论，集成海外石油数据信息资料和信息管理系统技术，构建海外石油投资环境评价数据支撑体系和方法模型，并系统介绍海外石油投资环境动态模拟和风险博弈软件平台（已申报软件著作权），并以附录形式给出了关键变量名词注释表（附录2）以及部分模块代码（附录3）。

第四部分（第8章）归纳总结全书研究工作成果和学术认知，具体包括主要研究结论和观点、研究创新点以及未来工作展望等。

本书有四个方面的研究特色或创新点。第一是理论成果，在阐述海外石油投资环境系统分析理论架构和方法体系过程中，构建了海外

石油投资环境系统分析的“四层塔形”理论体系，系统阐述了“人-机-交互”理论架构，提出了“人智-机智-人机交互”系统建模方法论；第二是技术创新，以现代信息科学为技术支撑，依据“人智-机智-人机交互”系统建模方法论，应用系统自组织、物元分析、灰色预测、系统优化、期权评价以及石油资源评价等技术手段构建了海外石油投资环境系统分析和诊断技术；第三是系统集成，应用信息管理和大数据集成技术，构建了海外石油投资环境动态模拟及风险测度软件平台；第四是成果应用，应用系统经济学、系统诊断以及石油期权价值评估方法体系，对拉美和非洲地区石油投资环境的系统结构演化特征、耗散结构行为以及期权价值进行了综合研究。

本书研究框架和编写提纲由穆献中策划完成，具体编写工作由穆献中和胡广文共同完成，但不同章节内容参考了研究团队部分成员不同阶段的研究工作和学术认知，其中第1章参考了李凯、胡广文、何帆、冯孝刚等研究生学位论文的部分资料，第2章和第3章由穆献中和胡广文共同编写完成，第4章和第5章是在胡广文和何帆等研究生学位论文实证分析基础上改写而成，第6章参考了李凯和冯孝刚学位论文的部分资料，第7章和附录部分是在李国昊、胡广文、胡连洁等共同承担的北京工业大学研究生基金成果基础上改写完成。除上述直接参与或提供学术成果的研究团队成员以外，不同届别的研究生顾一帆、吕雷、王宗帅、余漱石、徐鹏、张志强、吕祥、朱雪婷等在课题研究的不同阶段也发挥了重要的作用。

在作者及其研究团队多年的课题研究过程中，中国工程院院士、北京工业大学原校长左铁镛教授，中国工程院院士、中国石油知名海外战略专家童晓光教授，中国工程院院士、中国社会科学院学部委员、著名经济学家李京文院士，中国技术经济学会理事长、中国社会科学院数量经济与技术经济研究所所长李平研究员，国务院发展研究中心研究员、《管理世界》总编李志军教授，教育部长江学者、北京理工大学管理与经济学院院长魏一鸣教授，中国石油天然气集团公司财务公司副总经理王增业博士，中国民生证券研究院执行院长、国内知名青年经济学家管清友博士，国家电网公司能源研究院战略所马丽所长，中国石油天然气集团公司咨询中心副主任吴国干教授、何文渊教授、

姚超教授、许坤教授，中国节能环保集团工程技术研究院总工程师许泓教授，中化石油勘探开发有限公司原总经理曾兴球教授、张达景博士，北京工业大学循环经济研究院副院长吴玉锋教授以及本单位各位同仁一直给予我们诸多关心和帮助，在此一并对他们表达由衷的敬意和真诚的感谢。

在此，需要着重提及并深深感恩的是国家自然科学基金委员会管理科学部以及诸位评审专家的指导帮助和审慎委托，没有他们委托我们研究团队的这项自然科学基金课题任务，也许我们不会这么持久且深入系统地开展该领域的研究工作，也不会有这么多团队成员和不同年级研究生前赴后继，以该领域作为研究方向和学位论文选题，甚至不会有出版这本书的动力。

本书是作者及其研究团队在海外石油投资环境系统分析、风险测度、期权价值评估等几个研究方向部分学术成果的归纳，但为了研究成果的系统性和完整性，本书不同章节系统梳理并引用了国内外诸多同行公开发表的相关学术成果，当然也可能因阅读资料有限而存在一定的局限。在书中我们尽可能详尽地注明了文献出处，但也难免有少许疏忽，在此对书中引用到研究成果的同行及该领域专家学者表达最崇高的敬意和真诚的谢意。

本书大部分章节内容是作者承担国家自然科学基金面上项目的研究成果总结，书中大部分章节内容也尽量强调作者及其研究团队自身的学术研究认识和实践探索，但限于作者及团队成员在本领域的学术研究能力和科学认知水平的局限性，书中难免有值得商榷之处，敬请致力于海外石油投资环境及相关研究领域的专家学者给予批评指正。

穆献中

2016年8月30日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究背景、目标及意义	1
1.2 国内外研究状况	5
1.3 本书研究内容和技术路线	27
第2章 海外石油投资环境研究理论体系	34
2.1 海外石油投资环境基本内涵及研究特征	34
2.2 海外石油投资环境系统分析的理论架构	40
2.3 海外石油投资环境基础理论	45
2.4 海外石油投资环境方法论	56
2.5 海外石油投资环境技术论	68
本章小结	75
第3章 海外石油投资环境系统分析方法和模型	77
3.1 海外石油投资业务分类及评价指标体系	77
3.2 海外石油投资环境系统评价方法体系及工作流程	86
3.3 定性分析及要素识别方法体系	94
3.4 系统解剖方法及模型	105
3.5 价值评估方法及模型	120
本章小结	133
第4章 拉美地区石油投资环境系统分析	134
4.1 拉美石油投资环境概况	134
4.2 熵视角下的拉美石油投资环境系统解析	140
4.3 拉美地区石油输出与经济发 展的灰色熵分析	145
4.4 拉美典型国家——委内瑞拉解析	154
4.5 拉美地区石油投资环境系统的基本认识	161
本章小结	162
第5章 非洲地区石油投资环境系统分析	164
5.1 非洲石油投资环境概况	164
5.2 非洲石油投资环境系统分析	170

5.3 基于物元模型评价非洲石油投资环境	172
5.4 非洲典型石油国家投资环境的耗散分析	181
5.5 非洲地区石油投资环境系统的基本认识	190
本章小结	191
第6章 海外石油投资风险分析与测度	192
6.1 海外石油投资风险的定义及特征	192
6.2 海外石油投资风险的识别、分析与评估	196
6.3 非洲石油投资风险的要素分析模型	206
6.4 海外石油投资风险的期权模型	218
6.5 海外石油投资风险的基本认识	224
本章小结	225
第7章 海外石油投资环境评价系统设计及开发	227
7.1 软件概述	227
7.2 软件总体结构	229
7.3 全局数据结构说明	231
7.4 模块设计	233
7.5 海外石油投资环境系统展示	238
本章小结	246
第8章 结论与展望	248
8.1 取得的主要结论	248
8.2 研究工作展望	250
附录1 非洲主要石油国家风险评价基础数值	253
附录2 关键变量名词注释	260
附录3 部分模块代码	262
参考文献	279
后记	290

Contents

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Background, objective and significance	1
1.2	Research review	5
1.3	Focuses and solutions	27
Chapter 2	Theoretical system of foreign petroleum investment environment analysis	34
2.1	Basic contents and characteristics	34
2.2	Theoretical framework	40
2.3	Basic theories	45
2.4	Methodologies	56
2.5	Analytical technologies	68
	Summary	75
Chapter 3	Methods and models in foreign petroleum investment environment analysis	77
3.1	Classification and index system of foreign petroleum investment	77
3.2	Method system and technical procedure	86
3.3	Qualitative analysis and indicator-based evaluation	94
3.4	System analysis	105
3.5	Value evaluation	120
	Summary	133
Chapter 4	System analysis of Latin American petroleum investment environment	134
4.1	Overview of Latin American petroleum investment environment	134
4.2	Entropy analysis of Latin American petroleum investment environment system	140
4.3	Grey-entropy analysis of oil output and economic development in Latin America	145
4.4	Typical country analysis-Venezuela	154

4.5	Conclusions	161
	Summary	162
Chapter 5	System analysis of African petroleum investment environment ...	164
5.1	Overview of African petroleum investment environment	164
5.2	Analysis of African petroleum investment environment system	170
5.3	Matter element analysis of African petroleum investment environment	172
5.4	Dissipative analysis of typical countries	181
5.5	Conclusions	190
	Summary	191
Chapter 6	Risk measurement of foreign petroleum investment	192
6.1	Definitions and Features	192
6.2	Recognition, analysis and measurement	196
6.3	Risk evaluation based on factor analysis model	206
6.4	Risk evaluation based on real option model	218
6.5	Conclusions	224
	Summary	225
Chapter 7	Design and development of foreign petroleum investment environment evaluation system	227
7.1	Overview	227
7.2	Overall structure design	229
7.3	Global data structure	231
7.4	Module design	233
7.5	Demonstration	238
	Summary	246
Chapter 8	Conclusions and outlook	248
8.1	Conclusions	248
8.2	Outlook	250
Appendix 1	Risk assessment data of main African oil countries	253
Appendix 2	Key variables list	260
Appendix 3	Module programming codes	262
References		279
Postscript		290

第1章 绪 论

近年来,伴随全球地缘政治和经济形势的变幻莫测,尤其是国际石油经济系统自身诸多复杂软、硬环境要素的“交互”作用,造成国际原油价格如“过山车”般起起伏伏,从而使得在国际石油产业领域投资的“买”“卖”双方也呈现出“风水轮流转”的不确定性发展态势,这不仅使海外石油投资环境本身变得扑朔迷离难以捉摸,也给国际石油经济理论探索和方法论体系带来了诸多有待深入研究的课题。

如何把握当前难以捉摸的国际石油投资环境变化规律及该领域研究进展,探究当今时代背景下海外石油投资环境进一步的研究空间及其创新点,就成为摆在我们面前一项必须面对的研究任务。本章将系统阐述海外石油投资环境系统分析和风险测度研究背景及其研究价值,综述国内外研究动态,概览本书的研究空间、研究内容、技术路线,以及拟解决的关键问题。

1.1 研究背景、目标及意义

1.1.1 研究背景

改革开放尤其是2000年以来,随着我国以第二产业为主的国民经济及其增长速度持续呈现高速发展态势,煤炭、石油、天然气等常规化石能源的消费量也呈现出指数高速增长态势,国内常规化石能源尤其是石油的自给能力已远不能满足国民经济发展对能源的需求,我国石油安全供应的对外依存度呈现逐年升高态势(图1-1)。

根据 *BP Statistical Review of World Energy 2015* 测算,2014年我国石油对外依存度已高达61.6%,这意味着我国消费的石油中有超过60%都来自于海外进口,其来源主要包括海外石油贸易、对外合作份额油以及“贷款换石油”等不同方式。多年来,国家石油的稳定供给和能源安全问题早已经成为我国经济发展过程中不可忽略的“瓶颈”因素,也是国家能源战略布局和系统研究的重中之重。

2008年以来,伴随世界经济形势的“跌宕起伏”,国际原油价格也经历了一

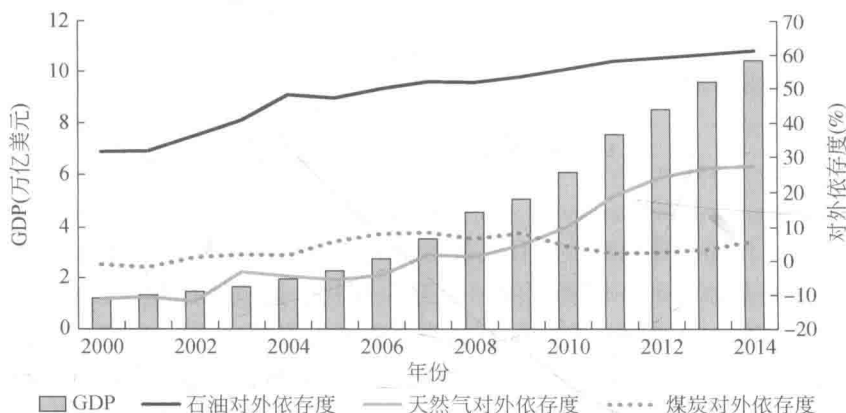


图 1-1 中国石油对外依存度与国内生产总值 (GDP) 增长趋势

资料来源：BP Statistical Review of World Energy 2015

个“高位爬行”到“低位震荡”的不规则发展历程，尤其是 2014 年下半年以来，国际原油价格一度跌至不足 40 美元/桶。国际原油价格的大幅度下跌引发了传统国际石油供需格局的重新大洗牌，这一方面使世界主要产油国、大部分跨国石油公司由于低油价遭受重创，尤以拉丁美洲、中亚-俄罗斯以及部分非洲产油国为甚，从而使得世界主要产油国和跨国石油公司纷纷希望通过开放石油区块、变卖原油资产以减少其经济损失；另一方面，世界最大的经济体和能源消费国美国正在通过“页岩技术革命”谋求非常规油气勘探开发生产的突破，以实现本国油气资源供应的长期外交独立。

面对日益突出的石油供需矛盾和国际石油格局不断变化，如何充分利用全球石油资源，保障我国石油的安全供应，进一步实现国家经济的可持续发展，已经成为我国当前难以回避的重大现实问题。尽管世界能源工业技术进步、新能源供应替代以及绿色能源发展政策正在引导着我国能源结构向绿色节能、优质环保的方向发展。但就目前来看，石油仍然是我国现在以及未来能源供应的中流砥柱，而海外石油投资也是我国短期内获取石油资源，补充国内石油供给不足的主要手段，因此海外石油投资环境系统研究和综合评价仍旧是当前以及未来需要重点关注的课题。

海外石油投资环境系统研究和综合评价本身涉及石油资源评价、投资风险监测、区产数据整合、投资环境动态模拟以及国家能源战略决策博弈的系统化研究，其涵盖的学科理论和技术领域也更加综合且复杂。从学科发展趋势看，海外石油投资研究正在由单纯的油气资源获取向模块化、综合集成的研究方向转变。与此同时，全球范围内的石油投资竞争局面也愈加激烈，难度和风险更是不断