

油气项目风险评价的研究现状及发展趋势

——基于WOS和CNKI数据库的文献计量对比分析

段言志¹, 何春蕾¹, 姚莉¹, 帅豪², 谢晨²

¹中国石油西南油气田公司天然气经济研究所, 四川 成都

²成都理工大学, 管理科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年11月14日; 录用日期: 2023年11月27日; 发布日期: 2023年12月22日

摘要

油气项目具有高投入、高风险、高产出、长周期的特点, 如何更为科学地量化风险、更为直观地展示风险、更为有效地规避风险, 已成为石油公司决策层急需解决的一个现实问题。为更好地把握研究热点和主题的变化趋势, 为我国油气风险评价相关研究提供有益参考, 笔者综合运用Citespace和VOSviewer等工具, 对油气项目风险评价领域的国内外文献进行了梳理与量化分析, 从论文产出规模、高产作者与研究机构、研究主题及研究热点变化等方面开展了深入研究与对比分析, 并在此基础上聚焦风险定量评价开展典型文献剖析, 总结了国内外主流的定量评价方法及发展趋势, 最后进而从评价内容、评价模型和评价过程三个方面提出了今后的研究展望。

关键词

油气项目, 风险评价, 文献计量, 研究现状, 发展趋势

Research Status and Development Trend of Risk Assessment of Oil and Gas Projects

—A Comparative Bibliometric Analysis Based on Wos and Cnki Databases

Yanzhi Duan¹, Chunlei He¹, Li Yao¹, Hao Shuai², Chen Xie²

¹Natural Gas Economics Research Institute, PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Sichuan Chengdu

²College of Management Science, Chengdu University of Technology, Sichuan Chengdu

Received: Nov. 14th, 2023; accepted: Nov. 27th, 2023; published: Dec. 22nd, 2023

Abstract

Oil and gas projects have the characteristics of high input, high risk, high output and long cycle. How to quantify risks more scientifically, display risks more intuitively, and avoid risks more ef-

fectively has become a practical problem that needs to be solved urgently by the decision-makers of oil companies. In order to better grasp the changing trend of research hotspots and themes, and provide useful references for the research on oil and gas risk assessment in China, the author comprehensively used tools such as CiteSpace and VOSviewer to sort out and quantitatively analyze the domestic and foreign literature in the field of oil and gas project risk assessment. In-depth research and comparative analysis were carried out from the aspects of paper output scale, high-yield authors and research institutions, research themes and research hotspot changes. And on this basis, the author focused on risk quantitative evaluation to carry out typical literature analysis and summarized the mainstream quantitative evaluation methods and development trends at home and abroad. Finally the future research prospects is proposed from three aspects: evaluation content, evaluation model and evaluation process.

Keywords

Oil and Gas Projects, Risk Assessment, Bibliometrics, Research Status, Development Tendency

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

油气项目复杂程度高、工作量大, 整个过程涉及大量不确定性因素(如产量、价格、开采成本等), 具有高投入、高风险、高产出、长周期的特点[1]。面对众多的投资机会和有限的资金, 如何科学评估项目风险以提高项目投资收益, 就成为石油公司决策层急需解决的一个现实问题, 石油公司在制定战略和规划时, 也将风险评价列为重点环节和关键工作。全球油气行业的风险评价始于 20 世纪 60 年代, 早期主要集中于钻井项目; 进入 20 世纪 90 年代, 学者在油气领域相关的勘探、开发及环境保护方面相继开展风险及评价研究。进入 21 世纪, 随着全球勘探机会的减少、地区冲突的频发、能源价格波动的加剧, 使得石油公司面临的决策压力日益增加, 也将风险评价置于了更高的位置, 对风险评价也提出了更高的要求, 即更为科学地量化风险、更为直观地展示风险、更为有效地规避风险, 进而更好地支撑投资决策。

为更好地把握研究热点和主题的变化趋势, 为我国油气风险评价相关研究提供有益参考, 笔者结合可视化图谱和文献计量分析工具, 对油气项目风险评价的国内外文献进行了梳理与量化分析, 从论文产出规模、高产作者与研究机构、研究主题及研究热点变化等方面开展了深入研究与对比分析, 并在此基础上对风险定量评价的文献进行二次梳理, 总结了国内外主流的定量评价方法及发展趋势, 最后进而从评价内容、评价模型和评价过程三个方面提出了今后的研究展望。

2. 文献计量分析

2.1. 数据与方法

2.1.1. 数据来源

当前, 中国知网(以下简称 CNKI)和 Web of Science (以下简称 WOS)分别为国内和国外较为权威、覆盖面较广的学术资源数据库, 因而笔者选取 CNKI 与 WOS 核心数据库作为数据来源进行分析, 以确保所选文献具有一定的针对性和代表性。CNKI 检索式为(TS = (油气) AND TS = (风险评价)), 检索时间段为 1995 年至 2022 年, 共检索到 1247 相关文献篇。WOS 核心数据的检索式为(TS = (oil & gas) AND TS = (risk assessment)), 检索时间段为 1995 年至 2022 年, 共检索到相关文献 1439 篇。

2.1.2. 研究方法

CiteSpace 是一款可视化分析软件,被广泛应用于文献资料的搜集或是对于某一个研究主题的研究热点和前沿的分析。与其他可视化分析软件相比 CiteSpace 所具有的内置算法多样、图谱调整选项丰富,具有一定的总结性与前瞻性;VOSviewer 可视化分析软件有出图美观、工整等优点,可以对 CiteSpace 的分析进行补充和优化[2]。本文综合运用 Excel、CiteSpace 和 VOSviewer,对 CNKI 检索的 1247 文献和 WOS 检索的 1439 篇文献进行统计和计量分析,从发文数量、发文作者、发文机构、研究热点与前沿等方面,对国内外的相关文献进行探索 and 对比。

2.2. 结果与分析

2.2.1. 发文数量

发文数量可以反映学者对于此研究领域的关注程度。从图 1 可以看出, CNKI 和 WOS 相关研究发文数量在整体上均呈现上升趋势,反映了国内外学者对油气风险评价的重视程度日益增加。但是相比较于 WOS, CNKI 发文量的波动更为明显, 2004~2013 年间, CNKI 的发文量超过 WOS, 表明了国内从该时期开始重点关注油气风险的研究;但是从 2015 年后, CNKI 的发文量开始低于 WOS, 一方面可能是在国内研究遇到了瓶颈, 另一方面也受到了疫情封控的冲击和影响[3]。

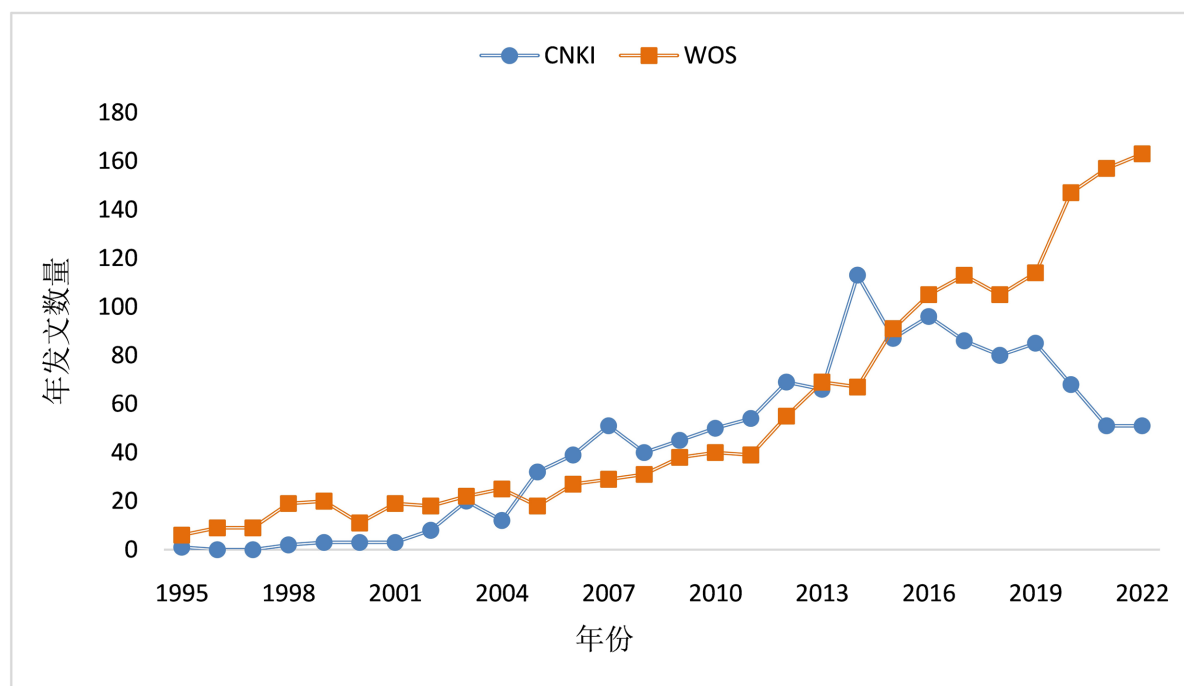


Figure 1. Statistics on the number of papers published on CNKI and WOS

图 1. CNKI 和 WOS 发文量统计

2.2.2. 发文作者

基于 VOSviewer,笔者分别得到了 CNKI 和 WOS 的主要合作者网络,如图 2 和图 3 所示。对于 CNKI(主要为国内学者),该领域相关性最大的文章由 1000 位学者发表,他们之间约有 193 次合作,其中发文量最多的作者依次是姚安林、张来斌、梁伟、刘扬。通过图 2 可以发现,国内的学者大多是以一个团队进行研究,很少出现学者之间跨团队甚至研究团队相互之间合作的情况。这样的情况容易出现信息壁垒,导致互相的研究思想无法交流,可能造成研究出现局限性。

而对 WOS，从合作团体的规模来看，该领域较为突出的有以 Khan Faisal、Yang Ming 等学者为核心的研究团队(图中橙色圆圈)，以 Sadiq Rehan、Hewage Kasun 等学者为主的研究团队(图中棕色圆圈)，以 Cozzani Valerio、Paltrinier Nicola (图中绿色圆圈)等为核心的研究团队，以及以 Zhang Laibin、Liang Wei (图中红色圆圈)等学者构成的研究团队等。总体而言，多数研究者的合作并不仅限于自身团队中，跨团队合作也是经常出现的。此外值得注意的是图中的橙色、绿色和红色标注的研究团体作为了衔接此研究领域思想交汇的桥梁。

2.2.3. 发文机构

将阈值设置为 2 (机构之间合作次数大于等于 2)，分别得到了 CNKI 和 WOS 的主要机构合作网络，见图 4 和图 5。根据对 CNKI 文献的分析结果，国内共 772 个机构发表过油气项目风险评价领域的中文文献，从图 2 可以看出发文量占主导地位的前三位机构分别是西南石油大学、中国石油大学(华东)和西安石油大学。从上述 3 个机构名称中均有“石油”二字，表明了此类研究主要集中于行业高校。此外，从图中可以看出，中国石油西南油气田公司是处高校以外，发文量较多的机构，且其所属的各研究院之间的合作也较为密集，但是与同处西南地区的西南石油大学的合作反而较少，表明国内的相关研究与企业结合还有提升空间。

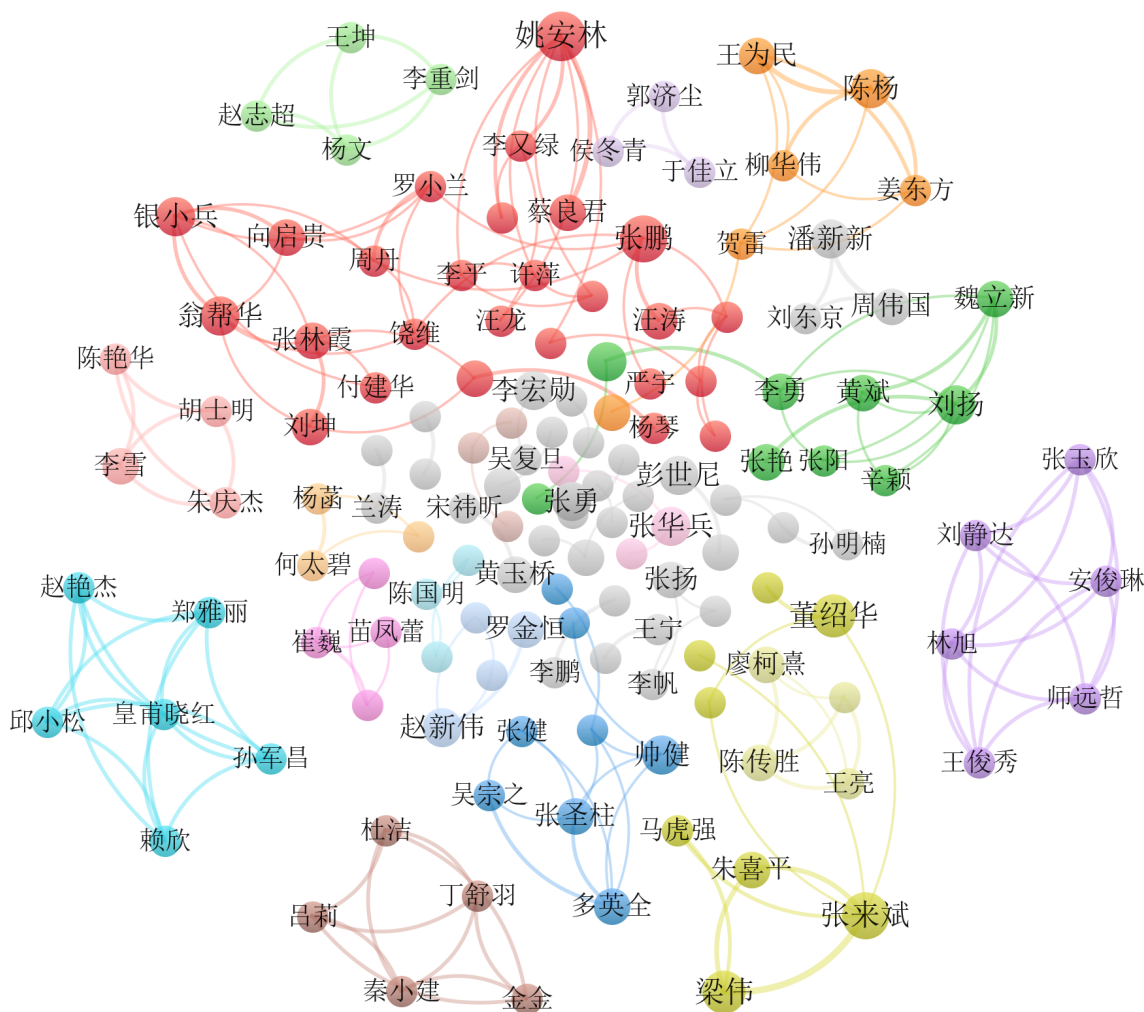


Figure 2. Lead author cooperation network of CNKI
图 2. CNKI 主要作者合作网络

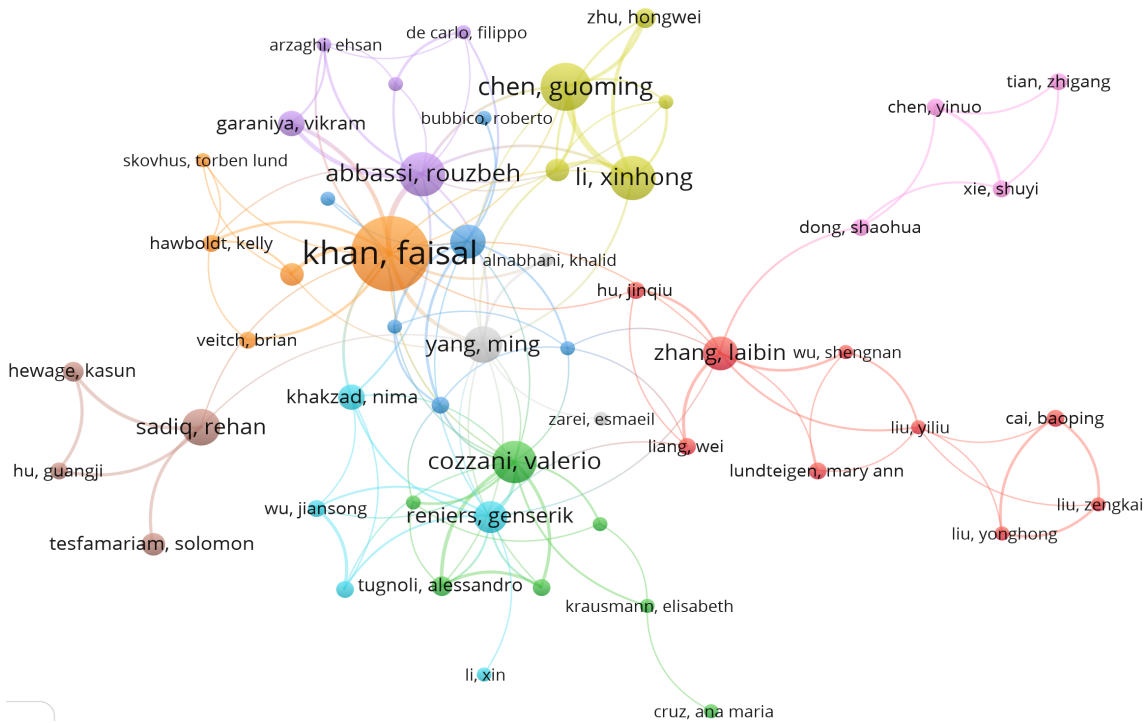


Figure 3. Lead Author Collaboration Network of WOS
图 3. WOS 主要作者合作网络

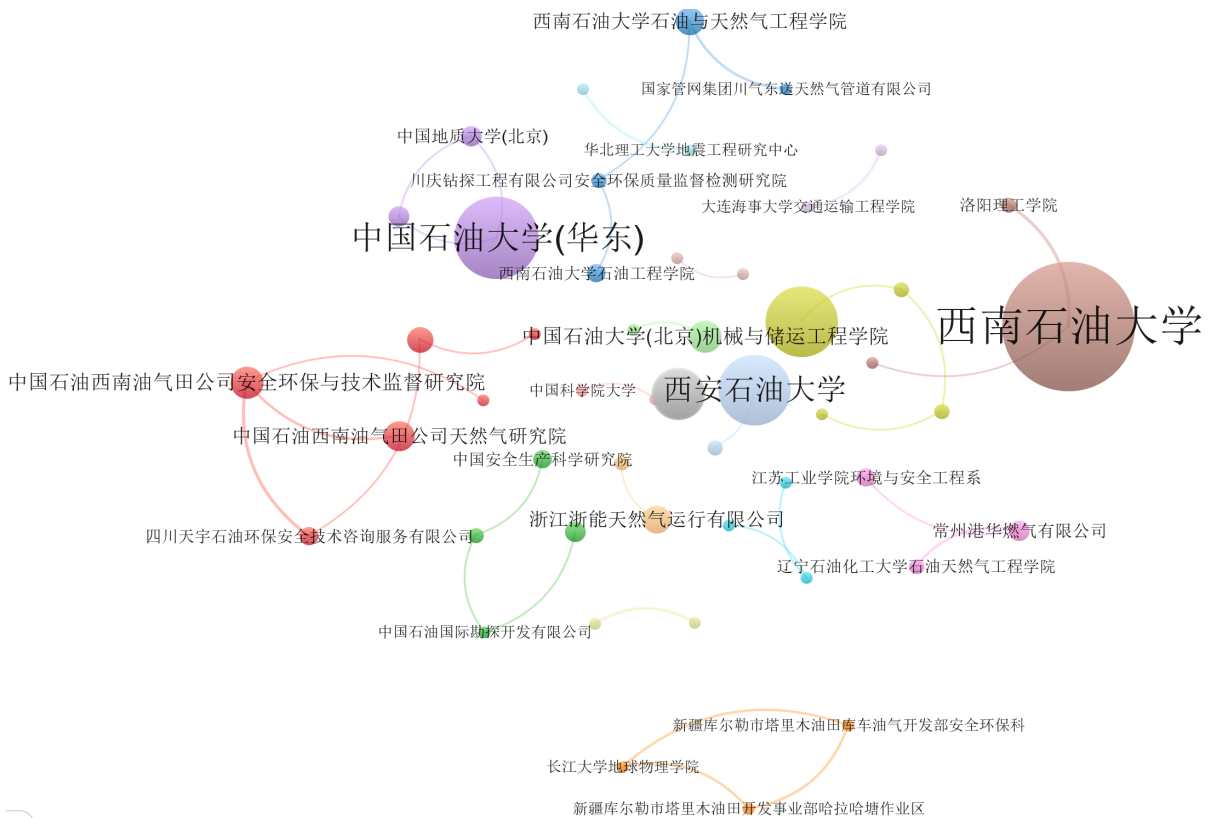


Figure 4. Main institutional cooperation network of CNKI
图 4. CNKI 主要机构合作网络

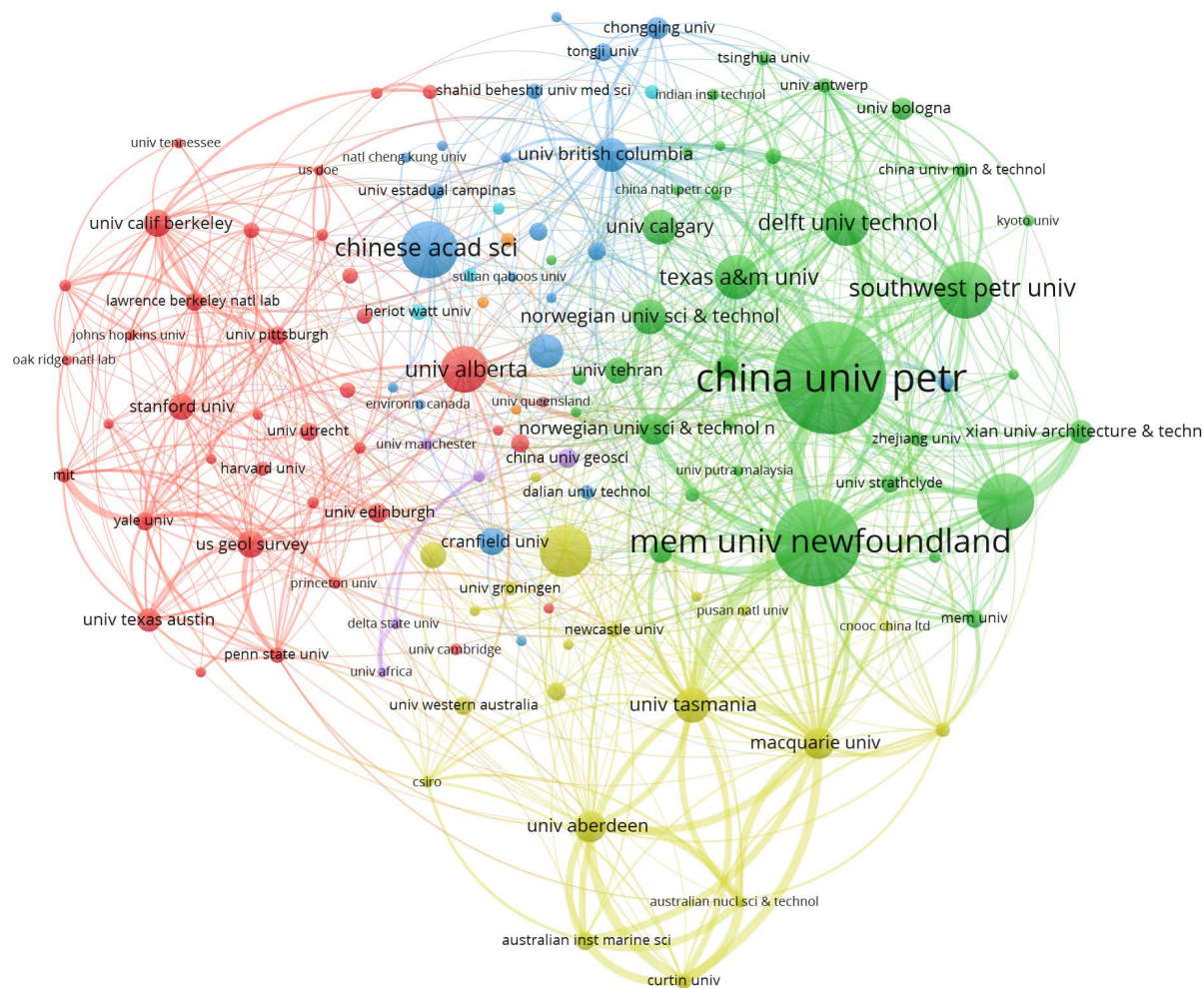


Figure 5. Main institutional cooperation network of WOS

图 5. WOS 主要机构合作网络

根据对 WOS 文献的分析结果, 英文文献发文量前 8 的机构分别为 China University of Petroleum (中国石油大学, 88 篇)、Memorial University Newfoundland (纽芬兰纪念大学, 52 篇)、United States Department of Energy (美国能源部, 37 篇)、China National Petroleum Corporation (中国石油, 37 篇)、Chinese Academy of Sciences (中国科学院, 31 篇)、Norwegian University of Science and Technology (挪威科技大学, 30 篇)、Southwest Petroleum University (西南石油大学, 25 篇)、Delft University of Technology (代尔夫特理工大学, 22 篇), 从中可以发现, 在发文量前八的机构中有四个都是来自于中国, 这表明了我国对于油气风险的研究在国际上得到了认可。除此之外, 从图 5 还可以看出, WOS 的研究学者和机构之间的联系明显高于 CNKI, 也体现出了英文文献更注重高校与高校、高校与企业的合作。

2.2.4. 研究热点与前沿

1) 关键词聚类

关键词可以显示某一研究主题的研究热点。通过 VOSviewer 软件对共现关键词进行热点可视化, 可直观反映出该领域研究重点和发展趋势。在热点分析知识图谱中, 关键词用圆圈和标签来代表, 其活跃程度与圆圈大小呈正相关, 而两圆圈之间距离越近, 则表示两者关系越密切。CNKI 检索文献主要关键词网络图如图 6 所示, 从图中可以看出 1995~2022 年间, 油气项目风险评价领域关注热点前 7 位分比为:

风险评价、安全评价、天然气、风险管理、风险评估、风险识别、风险分析。从中可以看出，油气项目的风险评价贯穿了风险识别 - 风险评估 - 风险管理全过程，且风险评价的主要对象为天然气项目的风险评价和油气项目安全方面的风险。

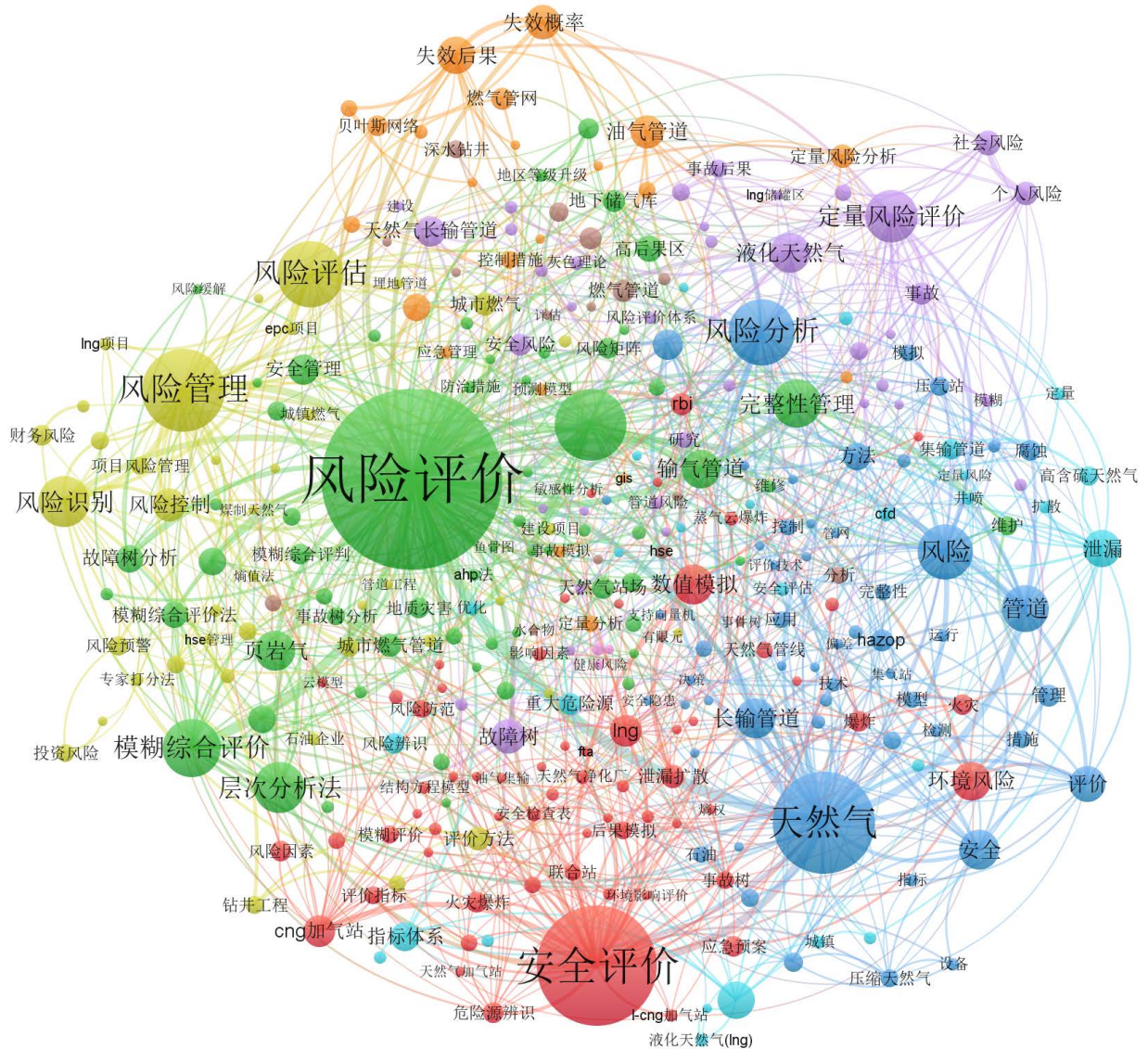


Figure 6. Keyword network diagram of CNKI
图 6. CNKI 关键词网络图

WOS 检索文献主要关键词网络图如图 7 所示。从图中可知，油气项目风险研究领域的英文文献的前七大热点依次为：风险评价、石油、模型、多环芳烃、风险管理、原油、安全。与中文文献研究相同的是，油气项目的风险评价也贯穿了风险识别 - 风险评估 - 风险管理全过程，同时也较为注重安全方面的风险评价。与中文文献研究不同的是，英文文献更加聚焦石油而非天然气；此外，侧重于量化风险的模型(图中绿色节点)、油气资源本身和开采过程中存在的一些风险(如储量、稳定性等)(图中蓝色节点)、环境风险(图中红色节点)、碳排放相关风险(图中黄色节点)。另外，英文文献还聚焦“人”这一因素和对象，对于油气泄露造成的风险和长期在油气场地的工人身体健康也有所涉及。

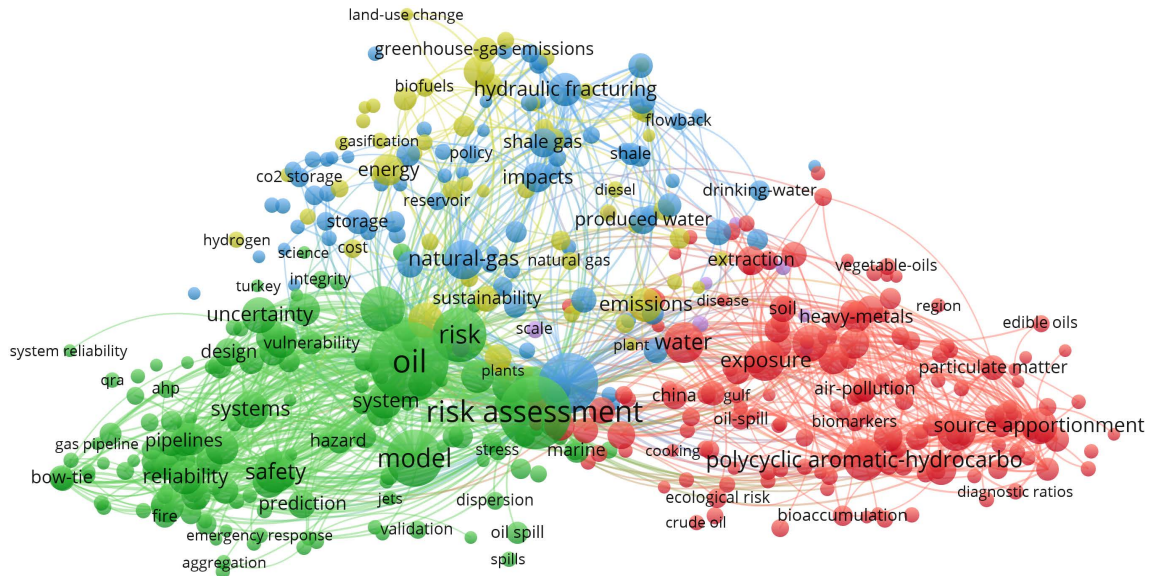


Figure 7. Keyword network diagram of WOS
图 7. WOS 关键词网络图

2) 关键词突现

关键词突现性是指在一定时期某个关键词出现频次快速上升，表明该关键词在一定程度上代表领域前沿[2]。基于 CiteSpace，笔者分别得到了 CNKI 突现词排名前 20 的关键词(图 8)和 WOS 突现词排名前 20 的关键词(图 9)。

Top 20 Keywords with the Strongest Citation Bursts

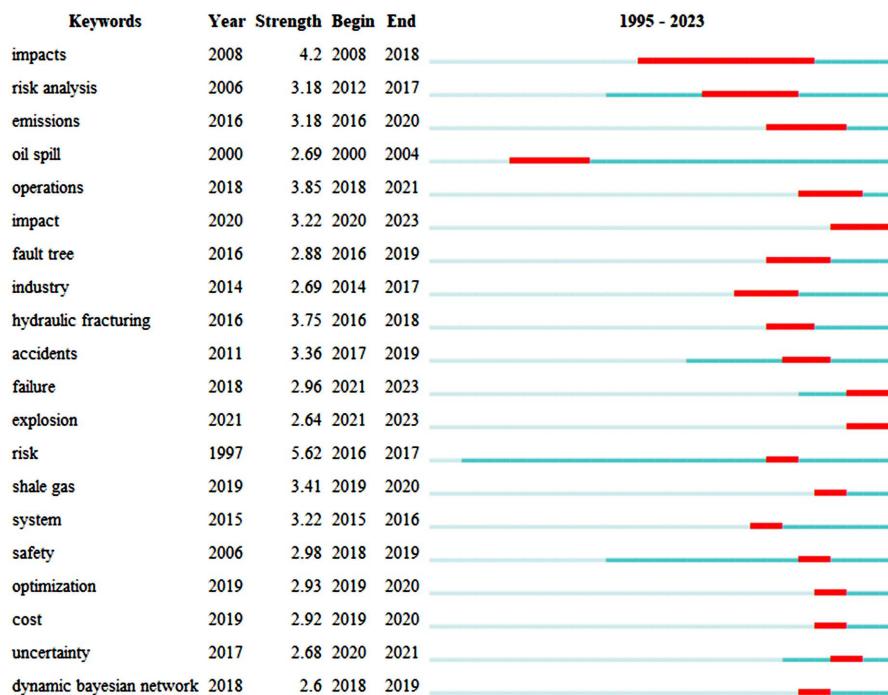


Figure 8. Keywords highlight the top 20 keywords of CNKI
图 8. CNKI 关键词突现排名前 20 的关键词

Top 20 Keywords with the Strongest Citation Bursts

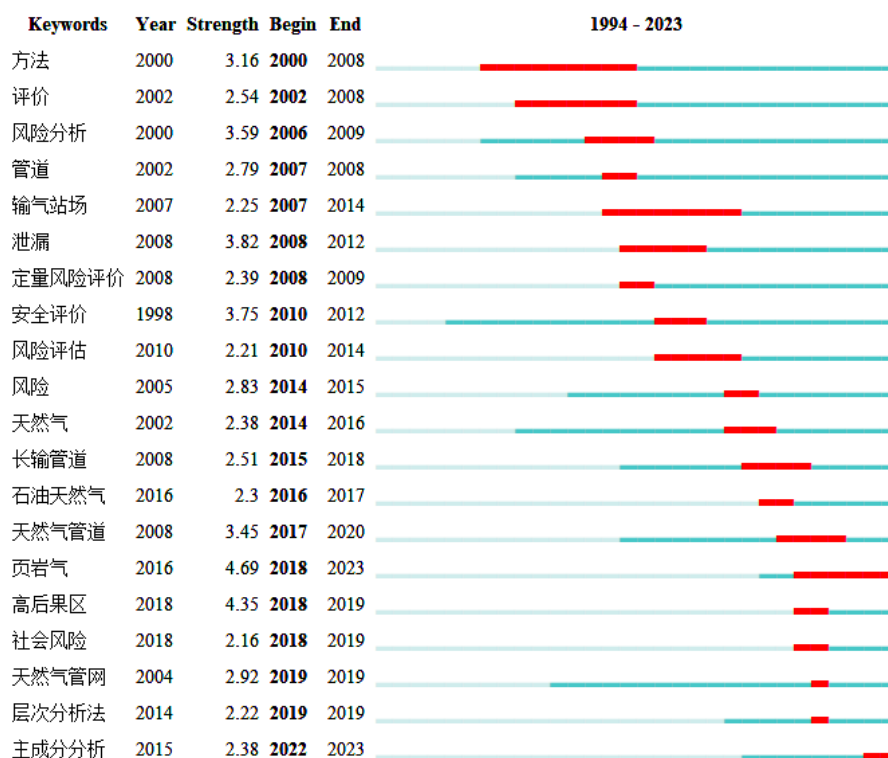


Figure 9. Keywords highlight the top 20 keywords of WOS

图 9. WOS 突现词排名前 20 的关键词

根据图 8, 2000~2014 年间中文文献的研究重点聚焦于研究方法、管道、泄露以及对于油气项目风险评价的改进, 该阶段也正好对应我国油气项目风险评价的初始研究阶段, 主要探究的是该类项目风险评价的具体步骤和操作方法。2015~2023 年间, 可以清楚地观察到该领域的研究重心放在了油气项目本身及社会风险方面, 中所用到的评价方法也更加具体(如层次分析法、主成分分析法等), 这也表明我国对于此领域的研究已逐渐成熟, 正更为深入、更加细致地开展探讨。由图 9 可知, 在 2004 年以前, 英文文献主要关注的仍是石油泄漏(喷井)带来的风险。从 2008~2018 年间才逐渐认知到在这个研究领域中, 各个风险因素之间“影响”的重要性, 也就是在这段时间内, 开始将“风险分析”作为一个热点进行系统性地研究, 随之而来的诸如“故障树”“动态贝叶斯网络”等分析和量化风险分析方法受到学者的关注。与中文文献的突现词相比, 英文文献对于油气管道的风险研究似乎较少, 这也更加体现了我国对于能源输送的重视。

3. 典型文献分析

从上面的关键突现词分析可知, 风险定量评价无疑会在我国油气企业的投资决策过程中起到至关重要的作用。为进一步探究油气项目风险评价, 笔者聚焦量化分析, 在文献计量的基础上, 从典型文献切入开展探讨。

3.1. 基于 WOS 的典型文献分析

相较于中文文献, 英文文献对油气项目的风险评价在内容和方法上更加成熟、更加系统。根据 WOS 关键词热点图(图 7)可知, 除去“风险分析”和“石油”这两个主题词后, “模型”热度排名第三, 这也

侧面证明英文文献研究更加注重定量分析。通过对典型文献的进一步梳理, 笔者发现油气项目风险定量评价主要有实物期权、概率和效用三类方法。

3.1.1. 基于实物期权的风险评价

长期以来, 油气项目的评价广泛使用现金流法折现法(DCF), 并基于此方法进行不断改进, 使其更加贴合油气项目的特殊性。基于 DCF 的风险评价认为波动性增加了项目风险, 降低了项目价值, 而实物期权理论则认为波动性会带来价值。Lima [4]深入研究了油气项目风险评价中波动性的影响。为了验证波动性的作用, Dotsis [5]基于此探讨了波动率估计风险在实物期权理论中的含义, 且为关键项目价值和期权价格构建置信区间。Erdem [6]指出传统的 DCF 方法比较死板且功能单一, 而动态 DCF 方法更加灵活且更加适用于不确定风险的评价。Ponomarenko [7]将实物期权应用于评估和解释地质和技术风险。Fedorov [8]进一步了评估基于实物期权方法的风险和收益分享计划的可行性。

3.1.2. 基于概率统计的风险评价

作为一种不确定性较高的资源, 油气资源的分布、储量以及价格是其主要的风险因素。众多学概率的角度, 运用蒙特卡洛方法对油气项目的风险开展量化分析。Guo [9]为了确定油气资源空间分布的位置, 提出了一种基于平均 - 依存估计(AODE)的油气空间分布预测方法; Kok [10]通过使用蒙特卡洛模拟来估算碳氢化合物储层的体积储量, 以及油田的孔隙度、厚度、面积、水饱和度、采收率的大概值以及出现概率, 进而评估油气项目的储量大小。而对于油气价格这一不确定性因素, 其主要风险来源于油气资源价格的波动, 部分学者则通过精准预测预期价格波动来规避风险, 如 Holmes [11]提出了使用顺序高斯模拟来生成与历史价格的频率分布和时间变化一致的等概率未来油价预测; Naderi [12]采用最小二乘支持向量机、遗传规划、神经网络和自回归积分移动平均线来预测油价的基本情况。此外, 概率统计在油气风险评价项目中的应用随处可见, Dheskali [13]提出一个概率数学模型, 该模型旨在量化油气藏资源商业化的财务风险, 采用蒙特卡洛模拟来估计几类气藏资源净现值的累积分布函数。

3.1.3. 基于效用理论的风险评价

风险偏好的不同, 往往会导致最后的风险评价和决策结果之间会存在较大的差异。为了研究企业风险偏好变化和企业规模之间的关系, Walls 和 Dyer [14]开发了一种新的风险倾向衡量标准, 即风险承受比(RTR), 它控制公司规模, 并允许公司在相对风险倾向方面进行区分, 由此能更加清楚地了解到石油公司之间观察到的风险倾向的差异及其对公司绩效的影响。Carpio 和 Margueron [15]首次在油气项目中提出了多属性效用理论(MAUT)模型, 将油气风险中的政治和技术风险进行组合, 可以定量地描述决策过程。除此之外, 多属性效用理论还能用来计算净现值和回收因子的稳定性, Santos [16]补充了获取新信息和增加生产系统灵活性的众所周知的技术, 为了制定稳健的生产策略, 降低对不确定性的敏感性, 专注于稳健的油井数量和布局, 以及稳健的平台处理能力。

3.2. 基于 CNKI 的典型文献分析

通过对中文文献的计量分析, 与英文文献相比, 中文文献的量化分析研究内容还是较为分散, 要偏向于风险因素的识别和相关定量评价模型的建立方面。

3.2.1. 风险因素识别

对于风险因素研究, 刘金兰等[17]应用多层次模糊综合评价法对海外油气项目的财务风险做了评价, 得出了目前海外油气项目面临的前三位财务风险分别是税收、价格和汇率。景怡然[18]将油气勘探开发风险分为地质、经济、技术、管理和政治风险五类。龙昱光等[19]将油气项目开发分为勘探、评价和开发三个阶段, 并提了各阶段应重点关注的风险因素及应对风险的方法。林腊梅等[20]剖析了页岩气勘探开发风险分

析, 讨论了页岩气开发可能存在的各类环境风险, 最终认为持续大量的投资和天然气价格波动是主要的经济风险。谈娜[21]将风险因素分为内部因素和外部因素, 研究重点提出了外部风险中“人”的风险因素, 这是其他研究少有提出的, 同时肯定了内部风险的重要性。邓文华[22]对油田开发涉及领域专业和风险管理风险的理论进行梳理, 提出风险因素按影响程度由高到低分别为政治风险、经济风险、社会环境风险、技术环境风险。

3.2.2. 风险定量评价

中文文献的风险定量评价方法主要集中于风险测度和蒙特卡洛模拟。

1) 风险测度

梁鸣芳[23]为度量投资风险及投资收益, 以 CVaR 理论为基础, 用条件风险价值作为风险计量指标, 构建了油气勘探风险投资组合模型。杨雪琴[24]基于 CVaR 风险度量理论, 并在此基础上通过引入难以量化的合同风险和政治风险, 形成一套评估海外勘探资产组合风险评估体系, 计算出组合资产面临的潜在损失, 以及各资产的最优权益比重。现如今, VaR 在能源行业的应用更加深入, 为了理清各能源业因为可代替性造成的风险溢出, 赵树然[25]构建了基于网络动态分位数模型的多条件 CoVaR 模型, 分析了中国煤炭、电力、新能源、油气四个主要能源行业对整个能源系统风险的溢出贡献。

2) 蒙特卡洛模拟

岳仲金等[26]和靳春青[27]使用蒙特卡洛模拟方法和经济评价模型评估不同的风险因素对于项目的影响程度。周佩庆[28]运用基于蒙特卡洛原理的@Risk 软件对印尼某油气开发项目进行风险量化分析。随着研究的深入, 现如今更多的是将蒙特卡洛模拟与其他方法进行融合, 例如刘维旭[29]运用阈值法和蒙特卡洛模拟法, 构建了海外油气投资环境风险评估模型, 分析了风险权重系数大小的现实意义; 晏飞[30]引入蒙特卡洛技术对不确定风险概率分析进行了改进, 使得项目经济效益和风险评价合二为一, 较好解决了敏感性分析和情景模拟无法实现的风险概率计算问题; 张宝生等[31]将项目 NPV 计算、蒙特卡洛模拟和风险-效益传递分析方法相结合, 建立了以经济效益为核心的风险-效益联动分析模型。

4. 发展趋势

通过文献计量分析和典型文献分析, 发现全球油气项目风险评价的相关研究存在如下趋势。

4.1. 评价内容系统化

在此研究领域初期, 大多数学者将重点放在了地质因素上, 较少考虑经济、环境、生态以及技术等方面。但随着研究地不断创新, 更多的研究侧重于多因素影响。除此之外, 风险评价在许多影响因素分析上面颇具主观性, 如决策者对于油气勘探技术水平的信任程度等等; 加之在评价过程中往往会出现许多软指标(软指标通常由专家进行评价), 所以专家的偏好和水平对评价结果有重要影响。为避免此类情况发生, 学者们开始基于多属性效用理论(MAUT), 以此来最大程度地降低主观性造成的评价误差。例如目前的一些评价方法已经开始研究基于评价人集的专家群评价方法, 通过对于不同专家的评价进行更改或删除, 再根据不同专家的权威进行权重的设定, 最后来形成一个专家集, 旨在解决对含有软指标或结构不良的对象进行评价时, 由于专家判断的主观性而引起的评价结论不一致问题。

4.2. 评价方法集成化

油气项目风险评价是十分复杂的问题, 它涉及到的内容包括: 评价的对象、评价的指标体系、评价所使用的方法以及评价的专家等。传统的评价方法对以上组合的选择缺乏理性标准, 影响评价结论的客观性。以评价方法为例, 若评价一直止步于风险因素研究而不将其进行量化分析, 一切都是纸上谈兵。

风险评价领域逐渐出现了集成的思想,如早期的油气勘探风险评价仅使用单一的概率分析,逐渐发展为多方法的集成应用。现如今中文文献虽仍以蒙特卡洛模拟作为油气勘探风险评价的主要方法,但是仍然会引入灵敏度分析等方法来了解各风险因素的影响程度,从而加深决策者或者石油企业对于某些方面关注。

4.3. 评价过程精细化

油气项目往往是一个周期长、流程复杂的动态工程。早期研究往往为静态评价,若在规划期间出现突变因素,容易出现评价预测的结果与后期真实结果之间存在较大的差距。而现阶段已有学者将动态分析加入评价过程之中,如陆家亮等[32]指出以往单一项目风险评价不关心油气田开发的起始年,只关心相对于起始年的各年产量,必须处理好时间节点之间的相关性,为了使得评价结果更为准确,还需要将以前单一气田分析变为多气田分析。

5. 结语

通过对油气项目风险评价的文献计量分析和典型文献梳理,目前国内的相关研究尽管已经逐步成熟,但是在研究具体内容、研究方法和研究过程方面还存在一定的进步空间。从研究内容上看,我国现阶段的油气勘探风险评价更多地将重点放在了管道风险上,相较于整个油气勘探开发过程还略显片面,应将研究内容拓展至勘探开发全流程。从研究方法上看,中文文献更多的是对于各风险评价方法的实用性进行研究,将其应用于各油田进行分析来证明此方法的可用性;此外,与英文文献相比,中文文献的研究方法并未形成相应的研究体系。从研究角度上看,中文文献主要采用风险度量理论以及其衍生出的如 VaR、CVaR 等风险管理工具,但是如何选择一种风险计量工具有效度量地质、技术、生态等各中勘探风险,给出勘探项目整体风险水平并建立有关的函数表达式是一个有待深入研究的问题。

参考文献

- [1] 王众, 匡建超, 曾剑毅. 国内外油气勘探风险评价研究现状及发展趋势[J]. 国土资源科技管理, 2009, 26(2): 125-130.
- [2] 廖胜姣. 科学知识图谱绘制工具 VOSviewer 与 Citespace 的比较研究[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(7): 137-139.
- [3] 韩犁夫. “三防”齐防“四责”同担快速高效打好疫情防控收官战[N]. 襄阳日报, 2022-11-30(001). <https://doi.org/10.38219/n.cnki.nxydb.2022.003016>
- [4] Lima, G.A.C. and Suslick, S.B. (2006) Estimation of Volatility of Selected Oil Production Projects. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **54**, 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2006.07.005>
- [5] Dotsis, G., Makropoulou, V. and Markellos, R.N. (2012) Investment under Uncertainty and Volatility Estimation Risk. *Applied Economics Letters*, **19**, 133-137. <https://doi.org/10.1080/13504851.2011.570697>
- [6] Erdem, O., Guyaguler, T. and Demirel, N. (2012) Uncertainty Assessment for the Evaluation of Net Present Value: A Mining Industry Perspective. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, **112**, 405-412.
- [7] Ponomarenko, T., Marin, E. and Galevskiy, S. (2022) Economic Evaluation of Oil and Gas Projects: Justification of Engineering Solutions in the Implementation of Field Development Projects. *Energies*, **15**, Article 3103. <https://doi.org/10.3390/en15093103>
- [8] Fedorov, S., Lavrutich, M., Hagspiel, V. and Lerdahl, T. (2022) Risk and Benefit Sharing Schemes in Oil Exploration and Production. *Energy Economics*, **116**, Article ID: 106401. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106401>
- [9] Guo, Q., et al. (2022) A Method of Predicting Oil and Gas Resource Spatial Distribution Based on Bayesian Network and Its Application. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **208**, Article ID: 109267. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109267>
- [10] Kok, M.V., Kaya, E. and Akin, S. (2006) Monte Carlo Simulation of Oil Fields. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **1**, 207-211. <https://doi.org/10.1080/15567240500400770>
- [11] Holmes, J.C., Mendjoge, A.V. and McVay, D.A. (2006) Quantification of Oil Price Uncertainty in Economic Evalua-

- tion Using Sequential Gaussian Simulation. *Petroleum Science and Technology*, **24**, 943-962. <https://doi.org/10.1081/LFT-200041207>
- [12] Naderi, M. and Khamehchi, E. (2016) Nonlinear Risk Optimization Approach to Water Drive Gas Reservoir Production Optimization Using DOE and Artificial Intelligence. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **31**, 575-584. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.03.069>
- [13] Dheskali, E., Koutinas, A.A. and Kookos, I.K. (2020) Risk Assessment Modeling of Bio-Based Chemicals Economics Based on Monte-Carlo Simulations. *Chemical Engineering Research and Design*, **163**, 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.09.011>
- [14] Walls, M.R. and Dyer, J.S. (1996) Risk Propensity and Firm Performance: A Study of the Petroleum Exploration Industry. *Management Science*, **42**, 1004-1021. <https://doi.org/10.1287/mnsc.42.7.1004>
- [15] Carpio, L.G.T. and Margueron, M.V. (2007) Decision-Making Process under Uncertainty in International Investments in Petroleum Exploration and Production: Multicriteria Approach. *Energy Exploration & Exploitation*, **25**, 339-356. <https://doi.org/10.1260/014459807783528892>
- [16] Santos, S.M.G., Gaspar, A.T.F.S. and Schiozer, D.J. (2017) Risk Management in Petroleum Development Projects: Technical and Economic Indicators to Define a Robust Production Strategy. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **151**, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.01.035>
- [17] 刘金兰, 刘立旺, 齐彤. 海外油气项目财务风险分析及对策[J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 112-116, 130.
- [18] 景怡然. 多层次灰色评价法在油气勘探开发项目风险评价中的应用[J]. 油气田地面工程, 2015, 34(9): 10-11, 13.
- [19] 龙昱光, 张研, 董世泰. 勘探、评价、开发阶段地震技术应用关键问题分析[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(6): 9-17.
- [20] 林腊梅, 许洋, 张金川, 韩双彪. 页岩气勘探开发风险分析[J]. 中国矿业, 2019, 28(11): 59-65.
- [21] 谈娜. 海外石油工程项目风险管理实证研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2019.
- [22] 邓文华. 中资石油企业伊拉克投资风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2021.
- [23] 梁鸣芳. 基于 CVaR 理论的油气勘探投资项目风险度量与决策研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [24] 杨雪琴. 基于 CVaR 风险度量的中国海外油气资产组合优化研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学, 2017.
- [25] 赵树然, 宋宁静, 任培民, 等. 群体分析视角下能源业系统性风险研究——基于网络动态分位数回归模型[J/OL]. 系统工程: 1-17[2023-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1115.N.20230328.1121.002.html>
- [26] 岳仲金, 许红, 李树峰, 等. 海外勘探开发项目风险量化分析方法[J]. 石油规划设计, 2017, 28(4): 48-51, 56.
- [27] 靳春青. 海外油气一体化项目最终投资决策研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2019.
- [28] 周佩庆. 基于风险定量评估的海外油气资产投资评价及战略研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 对外经济贸易大学, 2017.
- [29] 刘维旭. 海外油气投资环境风险指数合成方法及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京理工大学, 2015.
- [30] 晏飞. 海外油气勘探开发项目风险概率评价研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2011.
- [31] 张宝生, 王庆, 王英君. 海外油气项目风险-效益联动分析模型与应用[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(2): 246-256.
- [32] 陆家亮, 孙玉平, 赵素平. 天然气开发战略规划风险量化评价方法研究[J]. 天然气工业, 2016, 36(10): 149-156.