石油科学通报
Petroleum Science Bulletin

化石能源勘探开发经济评价的文献计量及可视化分析

彭斐[1]，罗东坤[1*]，尹成芳[2]，祁彬彬[3]

1 中国石油大学(北京)经济管理学院，北京 102249
2 中国石油大学(北京)图书馆，北京 102249
3 中国石油大学(北京)地球物理学院，北京 102249
* 通信作者, ldkun@vip.sina.com

收稿日期: 2020–01–02
本文由国家“十三五”油气科技重大专项专题“煤层气开发方案优化与风险评估”(2016ZX05042–003–04) 资助

摘要 化石能源勘探开发经济评价是保证企业可持续发展的基础。本文采用文献计量、可视化方法，提取基于CNKI期刊库研究相关领域论文的发文时间、来源期刊、作者、机构、关键词等信息，借助Matlab平台，统计词频，利用共词分析法，建立作者、机构、关键词的共现矩阵，最后借助VOSviewer生成网络聚类图，分析作者、机构合作网络，利用关键词密度图对研究主题前沿进行综合分析。整体上，目前煤层气、页岩气等非常规资源的经济评价关注度较高。从合作关系网络分析来看，今后高校与科研院所中的高影响力研究者，应优化资源配置，着力加强沟通，争取更多跨界合作，进一步落实科技成果转化，使得我国化石能源勘探开发经济评价为科学决策提供有利保障。

关键词 化石能源；勘探开发；经济评价；文献计量；可视化；共词分析

Bibliometric study on economic evaluation of fossil energy exploration and development articles and its visualization

PENG Fei[1], LUO Dongkun[1], YIN Chengfang[2], QI Binbin[3]

1 School of Economics and Management, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China
2 Library of China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China
3 College of Geophysics, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

Abstract The economic evaluation of fossil energy exploration and development is the basis to ensure the sustainable development of enterprises. In this paper, by adopting the method of bibliometrics and visualization, based on the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) periodical library, the frequency of the date of publication, source journals, authors, institutions and keywords of the research papers are extracted using Matlab programming, and by the way of co-word analysis, the co-occurrence matrices of the authors, institutions and keywords are established. Finally, with the help of the network clustering figures generated by VOSviewer, the cooperation networks of the authors and institutions are analyzed. The integrated analysis of the keywords is based on item density visualization. On the whole, attention has been paid to the economic evaluation of unconventional resources such as coalbed methane and shale gas. From the perspective of the analysis of cooperative relationship networks, in the future highly influential researchers in universities and research institutes should optimize the allocation of resources, focus on strengthening communication, strive for more cross-border cooperation, and further implement the transformation of scientific and technological achievements, so that the economic

引用格式：彭斐, 罗东坤, 尹成芳, 祁彬彬. 化石能源勘探开发经济评价的文献计量及可视化分析. 石油科学通报, 2020, 01: 132−140
PENG Fei, LUO Dongkun, YIN Chengfang, QI Binbin. Bibliometric study on economic evaluation of fossil energy exploration and development articles and its visualization. Petroleum Science Bulletin, 2020, 01: 132-140. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2020.01.013

©2016—2020 中国石油大学(北京) 清华大学出版社有限公司

evaluation of China's fossil energy exploration and development can provide valuable information for scientific decision-making.

Keywords fossil energy; exploration and development; economic evaluation; bibliometrics; visualization; co-word analysis

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2020.01.013

0 前言

2014 年 11 月国务院办公厅下发了关于《能源发展战略行动计划(2014—2020 年)》的通知，“增强能源自主保障能力”是主要任务之一，其中“稳步提高国内石油产量”和“大力发展天然气”是立足国内，加强能源供应力建设，不断提高自主控制能源对外依存度的两个途径[1]。如何做好稳定东部老油田产量，实现西部增储上产，加快海洋石油开放，支持低品位资源开发，同时加快常规天然气勘探开发，重点突破页岩气和煤层气开发是技术要点，积极发展能源替代，是石油企业实现可持续发展的关键。为此，在油田不同发展阶段，急需科学分配勘探和开发投资配置，使油田保持合理的储采比，从而获得最佳综合经济效益。但现实是，在石油工业发展过程中，石油企业往往处理不好长期效益与短期效益的关系，投资往往以产量为目标，只追求短期效益，不能根据长期效益最大化原则分配投资，造成勘探投入长期不足、后备储量跟不上、储采比严重失衡等问题。经济评价作为规避投资风险，实现科学决策，提高经济效益的关键环节，引起了投资者和管理者的高度重视[2]。本文试图从文献计量角度，分析化石能源(包括石油、天然气、煤层气、页岩气、页岩油、致密油、致密气等)勘探开发经济评价研究现状，以期对该研究领域指明发展方向。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

基于研究文献的题录信息，借助Matlab平台，提取已发表论文的发文时间、来源期刊、作者、机构、关键词信息，然后，利用全记录法[3]，对机构、作者、关键词进行共词分析，通过统计分析条目两两共现的频次(见图 1，X表示条目，可代表机构、作者或关键词，P表示论文，其中条目间数字表示共现次数)，建立机构、作者、关键词共现矩阵，利用VOSviewer生成网络聚类图和密度图[4]，进行多元统计和共现网络分析。

1.2 数据来源

基于中国知网(CNKI)期刊库，按照检索式SU%=(‘石油’+‘天然气’+‘油气’+‘煤层气’+‘煤成气’+‘页岩’+‘页岩气’+‘页岩油’+‘非常规’+‘致密油’+‘致密气’+‘致密砂岩’)*(‘勘探’+‘开发’)*(‘经济评价’+‘经济分析’+‘经济评估’)进行专业搜索，共搜索论文601 篇，去除重复、广告等讯息，最终获得分析论文587 篇，检索日期 2019 年 11 月 25 日。

2 科学合作及其产出分析

2.1 发文时间

依据现CNKI期刊库，记录化石能源勘探开发经济评价最早的数字文献始于 1983 年，比 1939 年玉门老君庙第一口钻井出油时间迟了 44 年，这不仅与出版物的出版周期滞后性有关，同时与现代信息技术发展有很大关系[5]。理论上，化石能源的勘探开发投资，贯穿勘探开发总过程。对照国际原油历史价格波动趋势[6]，化石能源勘探开发经济评价的发文量与其基本

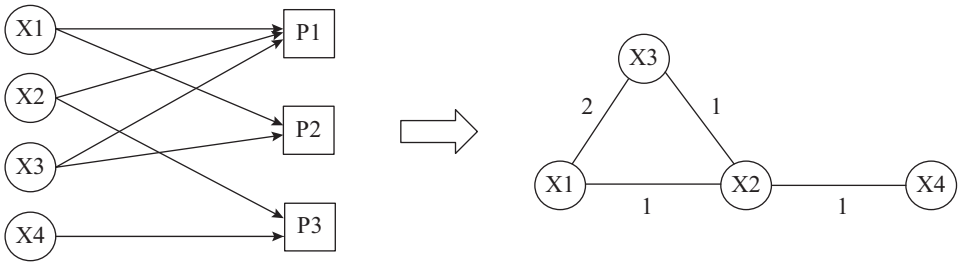

图 1 条目共现网络转为全记录网络

Fig. 1 Networks from item networks to full counting co-occurrence networks

保持一致(图 2)，2005 年发文量达到顶峰期，比 2008 年油价高峰期提前了 3 年，2015 年以来油价持续低迷，但研究者的热情未减，其研究发文量反而更加稳健。

2.2 发文期刊

由于本次研究时间域宽，期刊更名现象显著，因此，分析发文期刊前，首先对更名、合并等期刊进行修正，将所有期刊修正到现名称下，比如：华东石油学院学报、石油大学学报(自然科学版)均统一到中国石油大学学报(自然科学版)。根据统计，587 篇论文发表在 181 种期刊上，平均每种期刊载文 3.2 篇，其中载文量大于 10 篇的期刊有 17 种，占所有期刊 9.4%，共计载文量 258 篇，占总载文量 44.0%，被 SCI、EI、北大核心、CSCD 或者 CSTPCD 收录且载文量大于 10 篇的期刊 10 种，占所有期刊 5.5%，共计载文量 179 篇，占总载文量 30.5%，见表 1。整体上，对于化石能源勘探开发经济评价的研究成果，主要发表在石油、天然气工业类期刊。从发文量角度说明目前石油、天然气工业类期刊对该研究领域的关注远大于矿业工程类相关期刊。

从出版周期分布来看，出版周期为周刊的 1 种，载文量仅 1 篇，出版周期为旬刊的 18 种，载文量 28 篇，出版周期为半月刊的 16 种，载文量 31 篇，出版周期为月刊和双月刊的均 67 种，载文量分别为 245 篇、259 篇，出版周期为季刊的 12 种，载文量 23 篇。从总载文量来看，双月刊和月刊种数相当，但双月刊载文量最多，单种期刊载文量最高的出版周期为月刊，被 SCI、EI、北大核心、CSCD 或者 CSTPCD 收录的期刊出版周期主要是双月刊和月刊，图 3。

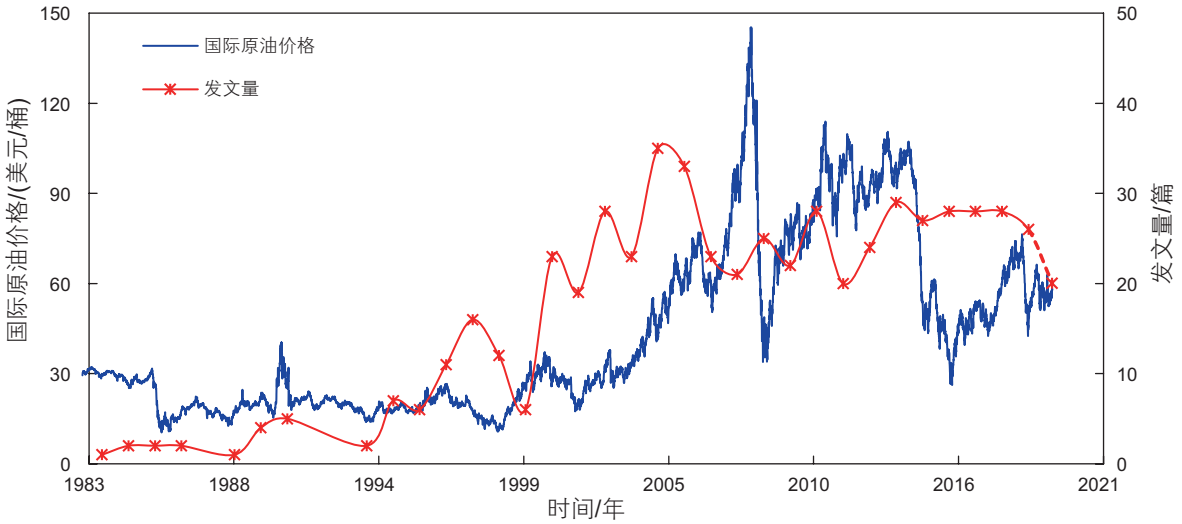

图 2 发文时间与发文量、国际原油价格分布

Fig. 2 Distribution of publishing time, volume and international crude oil price

表 1 发文量 10 篇及以上期刊统计表

Table 1 Statistical table of source journals volume more than ten papers

序号	期刊来源	载文量/篇	收录范围	出版周期
1	天然气工业	38	EI、北大核心、CSCD、CSTPCD	月刊
2	国际石油经济	33	CSTPCD	月刊
3	中国石油勘探	19	北大核心、CSCD、CSTPCD	双月刊
4	石油勘探与开发	16	SCI、EI、北大核心、CSCD、CSTPCD	双月刊
5	石油学报	15	EI、北大核心、CSCD、CSTPCD	月刊
6	中国海上油气	13	北大核心、CSCD、CSTPCD	双月刊
7	新疆石油地质	12	北大核心、CSCD、CSTPCD	双月刊
8	石油与天然气地质	12	EI、北大核心、CSCD、CSTPCD	双月刊
9	油气地质与采收率	11	北大核心、CSCD、CSTPCD	双月刊
10	中国矿业	10	北大核心、CSTPCD	月刊

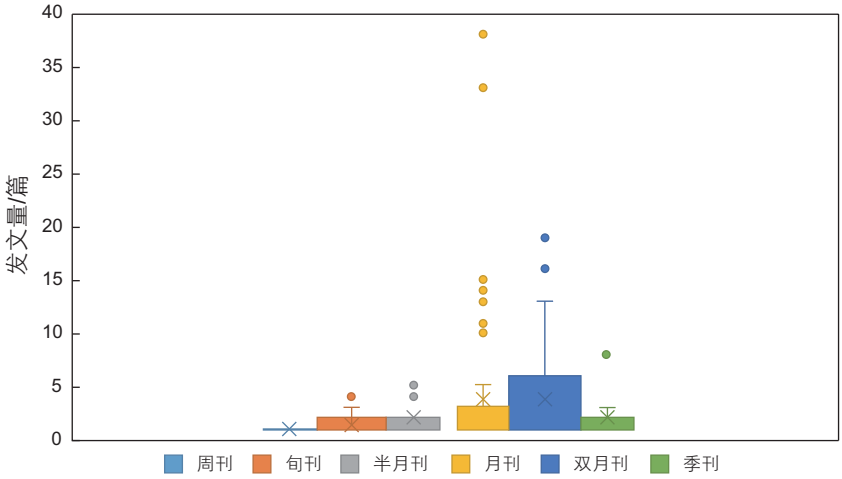

图 3　期刊出版周期与发文量分布

Fig. 3　Distribution of periodical publication cycle and volume

2.3　机构的论文产出与合作

本研究将中石油、中石化、中海油下属的各油田、企业、研究院所等，分别归属为中国石油集团、中国石化集团、中国海油集团，将各高校二级院系等归属到校级机构，同时，将更名、归并的机构均归属到现机构名下。合并后研究机构共 110 家，其中中国石油集团发文量最高 219 篇，中国石化集团次之 145 篇，中国海油集团发文量 44 篇，排名第 4。研究高校 53 家，总发文量 246 篇，其中中国石油大学(北京)是高校发文最多的机构(57 篇)，发文量超过 10 篇的高校，还有中国地质大学(北京)(25 篇)、西南石油大学(21 篇)、东北石油大学(17 篇)、西安石油大学(14 篇)、中国石油大学(华东)(12 篇)、成都理工大学(11 篇)、中国矿业大学(北京)(11 篇)。依据机构论文产出，目前对该研究领域的投入，石油集团远大于矿业集团，石油特色高校高于其他综合性高校。机构发文量与机构数量的对应关系见图 4。可以看出，在机构层面上，高产机构主要集中在少数机构，大量机构的论文量都较少，这也反映了机构层面上科研产出的不平衡性，说明在化石能源勘探开发经济评价研究中，少数的机构产出了多数的科研成果。

从机构合作角度，110 个机构中仅 79 个机构间有合作关系，其中两个机构合作完成的论文 119 篇，3 个机构合作完成的论文 28 篇，4 个机构合作完成的论文 2 篇，其他均为单一机构。利用VOSviewer完整计数法，建立机构合作网络，图 5，图中节点的大小与机构发文量成正比，节点越大，对应机构的发文量也越多；连线表示机构之间的合作关系，线的宽度表示

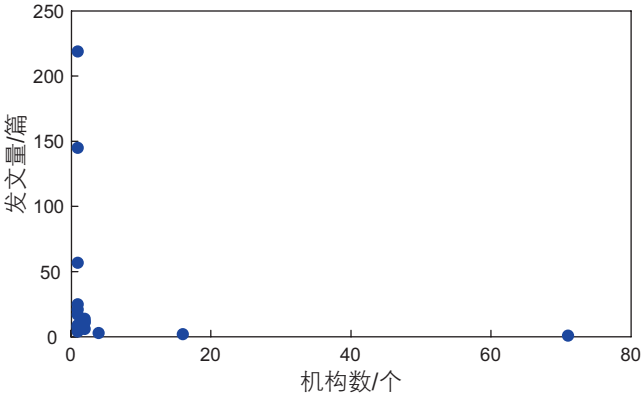

图 4　机构发文量与机构数量分布

Fig. 4　Distribution of the volume and number of institutions

合作关系的强度，相同颜色表示同一机构合作群。同时，机构之间的距离越近，关系也越密切。通过网络聚类，去掉单一孤立机构，将研究机构划分为 7 大合作群。第 1 个合作群包括中国石油集团、中国石油大学(北京)、东北石油大学等 20 个机构；第 2 个合作群中有中国矿业大学(北京)、中煤科工集团、中联公司等 14 个机构；第 3 个合作群中有中国石化集团、西南石油大学、成都理工大学等 13 个机构；第 4 个合作群中有中国地质大学(北京)、中国海油集团、北京大学等 11 个机构；第 5 个合作群中有西安石油大学、西北大学、延长石油集团等 5 个机构；第 6 个合作群中有中国人民大学、华中科技大学、河北地质大学 3 个机构；第 7 个合作群中有中国社会科学院和天津大学 2 个机构。从聚类合作群也可以看出，机构合作的紧密程度与研究领域和地域有很大关系，研究领域越相近，地域越近，合作的概率越高，合作紧密程度也越高。

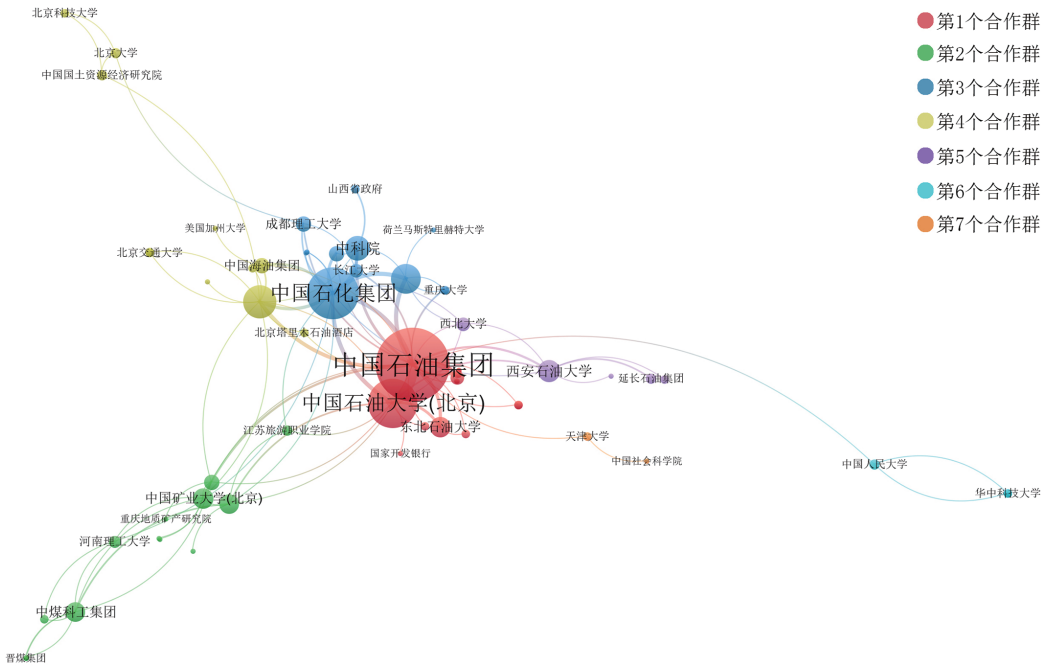

图 5 机构合作网络聚类

Fig. 5 Clustering of cooperative network of institutions

2.4 作者的论文产出与合作

分析作者论文产出时，对于同一作者不同工作单位的产出均归属到该作者名下。根据统计，587 篇论文来自 1221 位作者，其中仅发表 1 篇的作者 1033 位，发表 2 篇的 123 位，3 篇的 35 位，4 篇的 15 位，5 篇的 10 位，7 篇的 2 位(中国石化石油勘探开发研究院王秀芝、荆克尧)，9 篇的 1 位(中国石油勘探开发研究院郭秋麟)，10 篇的 1 位(中国石油辽河油田公司勘探开发经济评价中心刘斌)，中国石油大学(北京)罗东坤教授发文量最多，为 19 篇。由图 6 作者发文量与作者数量关系图，作者发文量也存在极度不平衡现象，即仅少数作者发文量较高，大多数作者的论文产出量处于较低水平，高产作者形成了化石能源勘探开发经济评价研究的主力。仅统计第一作者情况，共计 485 位一作，其中发文仅 1 篇的一作 428 位，2 篇的一作 37 位，3 篇的一作 11 位，4 篇的一作 5 位，5 篇的一作 2 位(中国石油勘探开发研究院郭秋麟和张永峰)，10 篇的一作 1 位(中国石油辽河油田公司勘探开发经济评价中心刘斌)，罗东坤教授居首，以一作发表论文 12 篇。从作者发文量角度，大部分作者的研究不具持续性，只有极少数具有可持续性，而这部分人主要稳定在高校或科研院所从事对口研究领域工作。

作者的合作是科学研究的主要形式，分析作者的

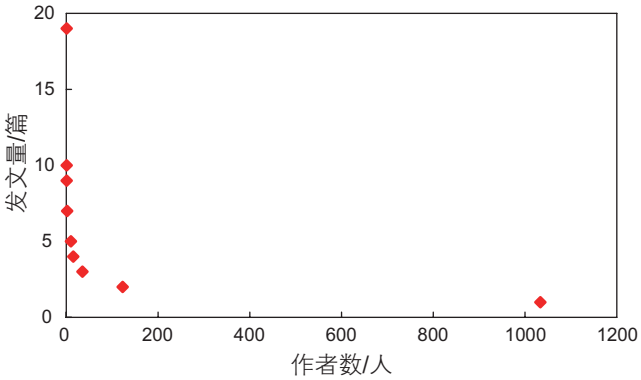

图 6 作者发文量与作者数量分布

Fig. 6 Distribution of the volume and number of authors

合作是分析研究团队的基础，也是形成合作网络的基础。587 篇论文中，两人合作完成的论文 161 篇，3 人合作的论文 103 篇，4 人合作的论文 62 篇，5 人合作的论文 55 篇，6 人合作的论文 22 篇，7 人合作的论文 3 篇，8 人合作的论文 6 篇，9 人合作的论文 2 篇。利用 VOSviewer 完整计数法，建立具有合作关系的 1087 位作者的合作网络，如图 7 所示。图中节点的大小与作者发文量成正比，节点越大，对应作者的发文量也越高；连线表示作者之间的合作关系，线的宽度表示合作关系的强度；相同颜色表示同一作者合作群。同时，作者之间的距离越近，关系也越密切。通过网络聚类，去掉 173 篇独著作者，将作者划分为 238 个合

作群体。社会关系视角下，第 1 个作者合作群是以中国石油大学(北京)罗东坤教授等人构建的师生合作模式，这也是传统合作关系中，合作最频繁的一种模式；第 2、4、7 个作者合作群是以中国石油勘探开发研究院郭秋麟、张永峰、胡素云、王青、王建君、黄旭楠等人构建的同一单位同事间合作模式，这是在科研院所中常见的合作模式；第 3、6、9 个作者合作群是以中国石化石油勘探开发研究院王秀芝、荆克尧、蔡利学等人构建的同一单位同事间合作模式；第 5 个作者合作群是以中国石油天然气集团公司孔令峰等人构建的跨地区单位合作模式；第 8 个作者合作群是以中国石油西南油气田天然气经济研究所姚莉等人构建的同一单位同事间合作模式。其他作者群人数均在 14 人以下，合作规模均较小，尤其 10 人以下合作群有 221 个。从作者合作网络来看，主要的合作网络构成都是围绕高产作者展开的，这说明了科学研究的传承性，同时印证了科学研究同样具备马太效应。从产学研角度来看，目前高校与科研院中的高影响力研究者，未形成较强合作，这样可能会导致高校理论研究无法解决实际问题，成果的应用力度不够；其次对于石油公司，研究单位与生产单位交流不充分，可能存在重经验、轻理论，缺乏系统化、规范化政策支撑，导致定量分析不够；整体来讲，高影响力研究者合作网络的缺失，也与投资思维相关，忽视了勘探开发投资活动可持续性发展过程。今后增强高影响力研究者之间的交流，促进先进思想在不同合作群流动，落实加强科技成果转化，将科技成果转化为第一生产力，从而更好的满足国家重大区域发展战略和经济社会发展需求[7]。

3 研究主题及前沿分析

作者在撰写论文过程中选定的关键词，是对论文主题的高度概况，因此，对作者提供的关键词进行分析，可以表征论文所涉及的核心主题，对关键词进行共现分析，则可以从文献层面探讨当前科学研究前沿。为了更精确地获取关键词对研究主题的概况，需对关键词进行预处理[8]。本文通过Matlab统计关键词词频，然后人工比对，建立关键词校对库，将诸如蒙特卡洛、蒙特卡洛法、蒙特卡罗模拟、蒙特卡罗模型等术语合并为蒙特卡罗。为了更加直观了解该领域的研究前沿，利用VOSviewer建立研究主题密度图，如图 8 所示。

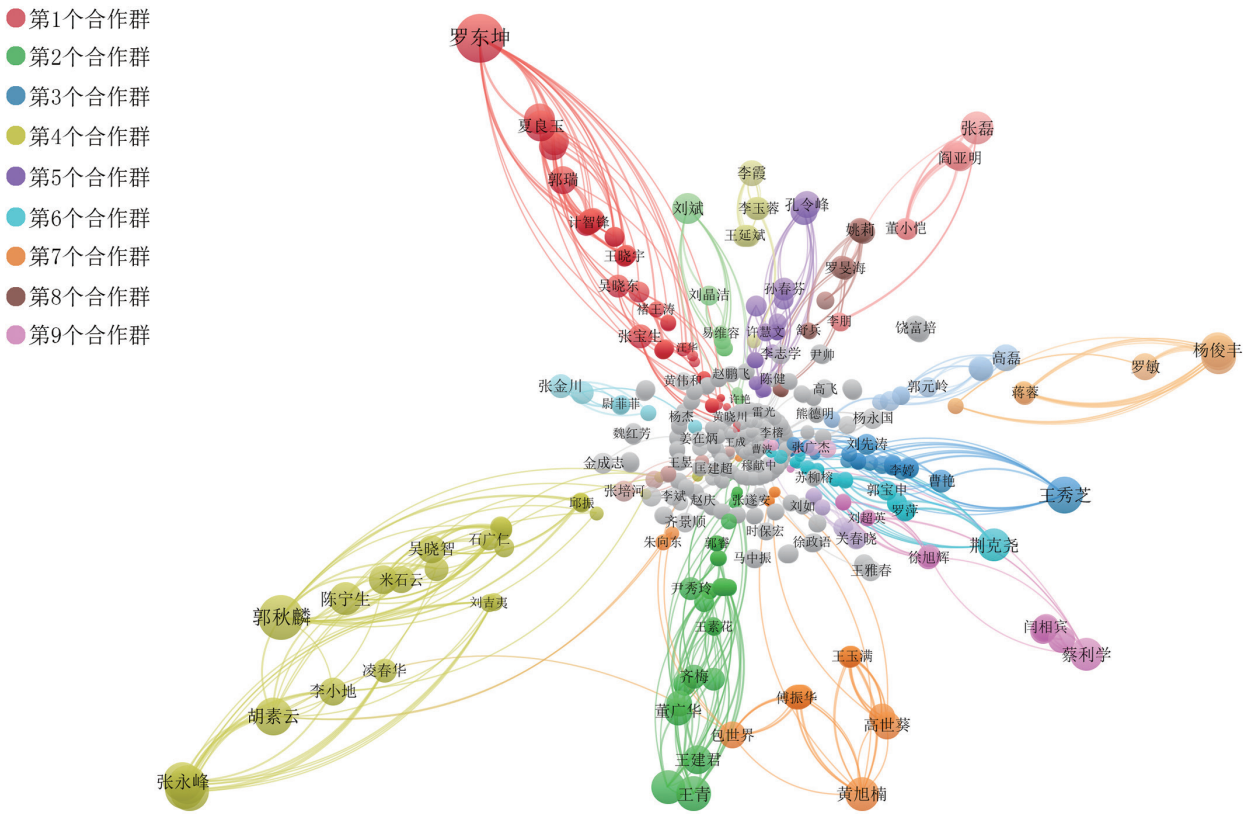

图 7 作者合作网络聚类

Fig. 7 Clustering of cooperative network of authors

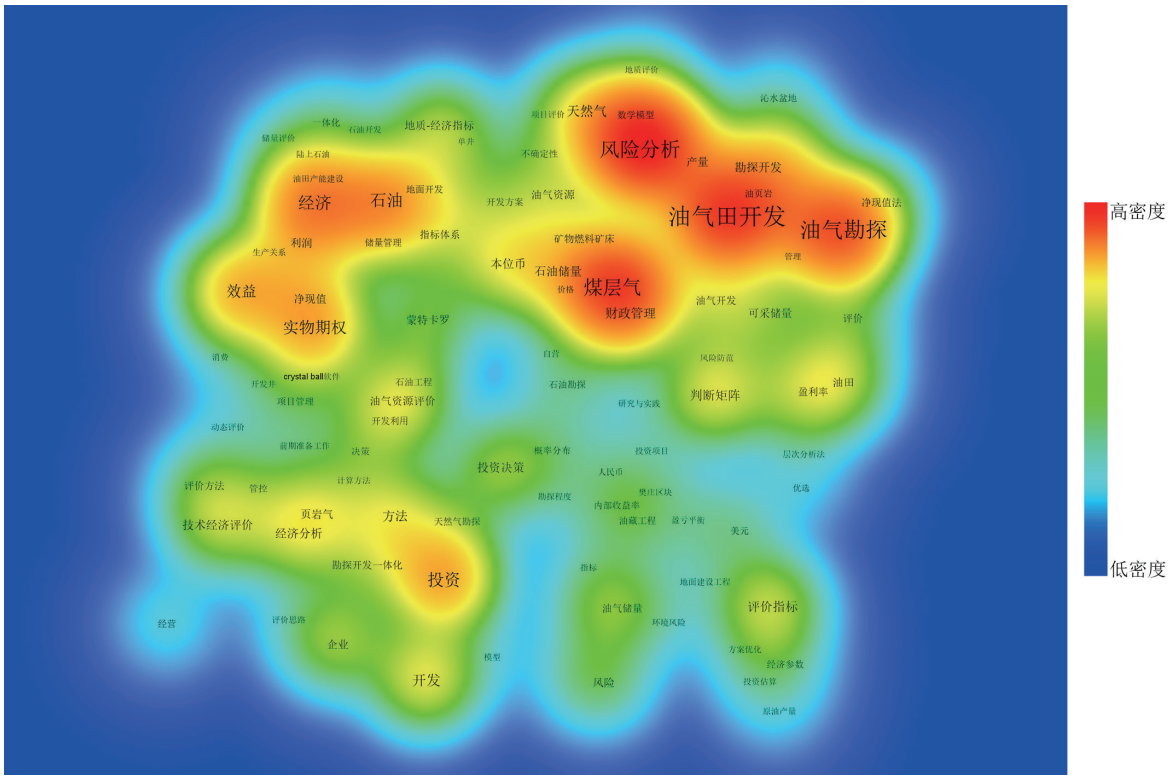

图 8 研究主题密度图

Fig. 8 Item density visualization

其中，标签越大，说明对应主题所含论文越多，主题所在位置越接近红色，说明对应主题的密度越大，也就表明该主题产出的论文越多，且周围的主题种类越多、权重越大、与其他主题的距离也越近。反之，密度图中，蓝色表示主题密度低的区域，主题所在位置越接近蓝色，表明该主题产出的论文越少、周围主题种类越少、权重越小、与其他主题的距离也越远。

VOSviewer中使用以下公式[9]，计算关键词之间的关联强度：

$$S_{ij} = \frac{2mc_{ij}}{c_i c_j} \tag{1}$$

式中，c_{ij}为关键词i和j共现次数，c_i为关键词i的总共现次数，表示为$c_i = \sum_{j \neq i} c_{ij}$，$m$为网络中总共现次数，表示为$m = \frac{1}{2}\sum_i c_i$。该分析要求网络各点之间必须为可连接，即任何两点之间至少存在一次共现，且两者之间共现次数越高，关联强度越大，主要测量指标为点关联强度矩阵指标[10]。通过对关联强度大于 1 的研究主题进行筛选，化石能源勘探开发经济评价的研究对象主要集中在煤层气(频次 58，总关联强度 43)、页岩气(频次 20，总关联强度 10)、天然气(频次 17，总关联强度 17)、石油(频次 16，总关联强度 30)、油气(频次 11，总关联强度 11)、矿物燃料(频次 8，总关联强度 16)、油页岩(频次 4，总关联强度 4)、非常规天然气(频次 3，总关联强度 2)。通过频次和总关联强度，对煤层气、页岩气等非常规资源的经济评价关注度较高，但实际考虑较少，而对于致密气(频次 4)、稠油(频次 3)、致密油(频次 3)、天然气水合物(频次 2)，目前关联强度相对较低，说明相关研究还有待于进一步深入。

研究的方法或者常用算法主要集中在实物期权(频次 27，总关联强度 27)、蒙特卡罗(频次 16，总关联强度 10)、净现值法(频次 7，总关联强度 6)、二叉树期权定价模型(频次 3，总关联强度 3)、灰色关联(频次 2，总关联强度 2)、判断矩阵(频次 2，总关联强度 16)，而模糊数学(频次 4)、决策树(频次 3)、BP 神经网络(频次 2)、遗传算法(频次 2)关联强度仍较低。蒙托卡罗方法主要用于探讨油气储量的发现预测[11]，也常用于勘探开发投资结构优化组合[12]。用于勘探开发投资优化研究的还有遗传算法，净现值法虽然对资源的合理利用不利[13]，但建立在现代经济学的效用价值理论之上，是动态评价勘探开发投资决策经济评价的重要方法之一[14]，目前在煤层气[15]等非常规

资源勘探开发投资中均有应用。油气勘探开发项目具有“一长三高”特点，即长周期、高风险、高不确定性、高回报[16]，实物期权是不确定性因素下风险投资决策的有效方法，用该方法将项目的各个阶段分别考虑，每个阶段结束后，根据项目进展情况决定是否继续投资，可有效规避风险[17]。实际应用中，为了更好的满足不同阶段、不同项目、不同因素、不同难题，诸如油气勘探中特有的不确定性、边际油藏等评价难题[18]，要多角度、多方法、组合优化多种模型，为勘探开发投资提高决策支持，进而提高勘探开发的整体效益。

研究的要素或指标主要有风险分析(频次 50，总关联强度 46，不包括勘探风险分析、地质风险分析、经济评价风险分析、投资风险分析)、经济效益(频次 23，总关联强度 15)、投资(频次 19，总关联强度 31)、储量(频次 15，总关联强度 19，不包括油气储量、可采储量、石油储量、探明储量、经济可采储量、未动用储量、剩余储量、地质储量、天然气储量、最低经济可采储量、期望储量等)、效益(频次 10，总关联强度 23)、利润(频次 3，总关联强度 10)、成本分析(频次 5，总关联强度 2)、本位币(频次 3，总关联强度 12)、通货膨胀率(频次 2，总关联强度 4)、盈利率(频次 2，总关联强度 6)。无论哪种经济评价指标，化石能源勘探开发经济评价都不能仅考虑经济因素而忽略了地质因素，随着技术的进步，寻求“投资—储量—产量”的最优组合，是实现油田可持续发展的重要保障。

4 结论

通过本文分析研究，得出以下结论：

(1)依据发文时间，化石能源勘探开发经济评价发文量与国际原油价格趋势基本一致，可以说理论研究是国际原油市场的奠基石，但又独立于国际原油市场。

(2)依据发文期刊统计，对于化石能源勘探开发经济评价的研究成果，目前主要发表在石油、天然气工业类期刊，其中核心收录的期刊出版周期主要是双月刊和月刊。从发文量角度来看，目前石油、天然气工业类期刊对该研究领域的关注远大于矿业工程类相关期刊。

(3)从机构角度分析，机构合作的紧密程度与研究领域和地域有很大关系。研究领域越相近，地域越近，合作的概率越高，合作紧密程度也就越高。突破地域、领域界限，优化资源配置，争取更多跨界合作，平衡机构层面上的科研产出非均衡性，是今后机构合作的大方向。

(4)从作者角度，大部分作者的研究不具持续性，只有极少数稳定在高校或科研院所从事对口研究领域的人员，其研究具有可持续性。从产学研角度，作者合作模式主要是师生合作模式、同一单位同事间合作模式，而对于高校与科研院中的高影响力研究者，却未形成较强合作网络，今后须制定有利政策、措施，增强高影响力研究者之间的交流，促进先进思想的流动，创造有利于科技成果转化的环境，落实加强科技成果转化，解决勘探开发经济评价中的难点、疑点、重点问题。

(5)从研究主题角度，对于煤层气、页岩气等非常规资源，其经济评价关注度较高，未来对非常规资源的勘探开发，要实现“双加强”，既要加强资源评价工作，更要加强非常规资源的经济性评价工作，与国家《能源发展战略行动计划(2014—2020 年)》导向更加一致；研究方法根据不同阶段、不同目的，常采用的方法有蒙托卡罗方法、遗传算法、净现值法、实物期权等，针对不同阶段、不同项目、不同因素、不同难题，多角度、多方法、组合优化多种模型是今后的发展方向；研究的要素或指标，依据不同研究方法和目的，包括风险分析、经济效益、储量、利润等。随着人工智能技术的成熟，在资料、信息、情报等各方面大数据资料齐备前提下，未来有望建立更为完善、成熟的勘探开发经济评价体系。

参考文献

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014−2020)的通知[EB/OL]. [2019−12−24]. http: //www. gov. cn/zhengce/content/2014−11/19/content_9222. htm. [The central people’s government of the People’s Republic of China. Notice of the general office of the state council on printing and distributing the strategic action plan for energy development (2014−2020) [EB/OL]. [2019−12−24]. http: //www. gov. cn/zhengce/content/2014−11/19/content_9222. htm.]

[2] 高世葵, 董大忠. 油气勘探经济评价的实物期权法与传统方法的综述分析与比较研究[J]. 中国矿业, 2004, 13(1): 28−32. [GAO S K, DONG D Z. Sum-up analysis and comparative research of traditional economic evaluation method and real options method of oil-gas exploration project[J]. China Mining Magazine, 2004, 13(1): 28−32.]

[3] PERIANES-R A, WALTMAN L, VAN E N J. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting[J]. Journal of Informetrics, 2016, 10(4): 1178−1195.

[4] 李杰. 科学知识图谱原理及应用: VOSviewer和CiNetExplorer初学者指南[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018. [LI J. Principles and applications of scientific knowledge mapping: A beginner's guide to VOSviewer and CiNetExplorer[M]. Beijing: Higher Education Press, 2018.]

[5] 陈钰业, 贾芳. 文明的兴衰: 疏勒河流域历史文化解读[M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 2014. [CHEN J Y, JIA F. The rise and fall of civilization: historical and cultural interpretation of shule river basin[M]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 2014.]

[6] Administration U S E I. Cushing OK crude oil future contract 1[EB/OL]. [2019−12−10]. https: //www. eia. gov/dnav/pet/hist/RCLC1D. htm.

[7] 尹成芳, 彭斐. 高校科技成果转化可视化研究 ——基于中国知网 1989 年至 2018 年文献计量分析[J]. 科技成果管理与研究, 2019(3): 14−16. [YIN C F, PENG F. Research on the transformation of scientific and technological achievements in colleges and universities visualization — Based on bibliometric from 1989 to 2018 on CNKI[J]. Management and Research on Scientific & Technological Achievements, 2019(3): 14−16.]

[8] 潘玮, 牟冬梅, 李茵, 等. 关键词共现方法识别领域研究热点过程中的数据清洗方法[J]. 图书情报工作, 2017, 61(7): 111−117. [PAN W, MU D M, LI Y, et al. Data cleaning in the process of identifying research hotpot based on keywords co-occurrence[J]. Library and Information Service, 2017, 61(7): 111−117.]

[9] WALTMAN L, VAN E N J, NOYONS E C M. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks[J]. Journal of Informetrics, 2010, 4(4): 629−635.

[10] 时少华, 孙业红. 社会网络分析视角下世界文化遗产地旅游发展中的利益协调研究——以云南元阳哈尼梯田为例[J]. 旅游学刊, 2016, 31(7): 52−64. [SHI S H, SUN Y H. Research on interests coordination in the tourism development of the world cultural heritage site from the perspective of social network analysis: taking Hani rice terraces in Yunnan as an example [J]. Tourism Tribune, 2016, 31(7): 52−64.]

[11] 郑玉华. 油气勘探开发投资优化决策研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2007. [ZHENG Y H. Research on investment optimization decision of oil and gas exploration and development[D]. Beijing: China University of Petroleum-Beijing, 2007.]

[12] 罗东坤. 油气勘探投资经济评价方法[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(1): 21−23. [LUO D K. Method of economic evaluation of oil-gas exploration investment. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2002, 9(1): 21−23.]

[13] 王义刚, 徐忠美, 曹晋, 等. 蒙特卡洛法在油气勘探项目决策中的应用[J]. 石油科技论坛, 2017, 36(4): 44−48. [WANG Y G, XU Z M, CAO J, et al. Application of Monte Carlo in Making Decisions on Oil and Gas Exploration Projects[J]. Oil Forum, 2017, 36(4): 44−48.]

[14] 柳兴邦. 油气勘探经济评价指标和评价方法初探[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(4): 89−91. [LIU X B. Preliminary research on the index and method of economic evaluation for oil-gas exploration[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2002, 9(4): 89−91.]

[15] 罗东坤, 夏良玉. 煤层气目标区资源经济评价方法[J]. 大庆石油学院学报, 2009, 33(4): 115−119. [LUO D K, XIA L Y. Economic evaluation method for CBM prospect resources[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2009, 33(4): 115−119.]

[16] 汪华, 罗东坤, 郑玉华. 基于实物期权理论的油田开发方案优选模型[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(1): 5−7. [WANG H, LUO D K, ZHENG Y H. Optimal model of oilfield development plan based on real options theory[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(1): 5−7.]

[17] 张永峰, 杨树锋, 贾承造, 等. 石油勘探开发项目实物期权特性分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 115−118. [ZHANG Y F, YANG S F, JIA C Z, et al. Real option characters of petroleum exploration and development projects[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 115−118.]

[18] 郭秋麟, 胡素云, 倪何艳, 等. 油气勘探目标经济评价与决策系统EDSys1.0[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(6): 116−120. [GUO Q L, HU S Y, NI H Y, et al. Economic Evaluation and Decision System of Petroleum Exploration Targets (EDSys1.0)[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 116−120.]

(编辑 付娟娟)