

山东省五莲七宝山矿集区 矿产勘查研究的回溯与前瞻

——基于 CiteSpace 知识图谱的可视化分析

唐名鹰¹, 张超², 朱伟^{1*}, 孙丽莎¹, 王欣¹, 华磊¹, 李福华¹, 邹占春¹, 彭永和¹

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第八地质大队(山东省第八地质矿产勘查院), 山东省地矿局有色金属矿找矿与资源评价重点实验室, 山东 日照 276826; 2. 山东理工大学资源与环境工程学院, 山东 淄博 255000)

摘要:近年来随着矿产勘查和科研工作的深入开展, 山东五莲七宝山地区作为山东省重要的有色金属矿集区, 显示了极大的找矿潜力。理清该区矿产勘查及研究热点演化过程, 对探究矿床成因和指导后续矿产勘查方向具有重要意义。本文获取了 1984—2024 年发表于中国知网的论文和 Elsevier ScienceDirect 数据库中与五莲七宝山地区找矿研究工作相关的论文, 利用 CiteSpace 软件对发表的论文中的作者、研究机构和关键词等信息进行了演化趋势分析。研究结果显示, 年均发表论文数量与七宝山地区找矿突破成果和矿业资本投入的增加呈正相关性, 且长期扎根在七宝山地区从事矿产勘查和科学的研究的山东省第八地质矿产勘查院在论文发表中占据主导地位。关键词演化趋势表明七宝山地区有色多金属的研究工作已从单一找矿方向向成矿预测、三维建模等方向转变; 矿物学的精细化研究也成为七宝山地区矿产勘查工作的热点之一。基于论文资料分析, 本文建议山东五莲七宝山地区矿产勘查工作应在综合评价矿床已有地质信息基础上, 加强地质资料的二次开发与利用, 深入挖掘数据隐藏的信息, 结合科技创新成果, 为七宝山地区深部和外围找矿突破提供理论支撑。

关键词:CiteSpace; 研究热点; 可视化分析; 五莲七宝山矿集区; 山东省

中图分类号:P61, O213

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.08.009

0 引言

矿产资源作为工业社会发展的基石, 除专有的经济属性和市场属性外, 矿产资源的技术属性亦同样重要^[1], 国民经济社会的可持续发展需要矿产资源的可持续供给和已有矿山的合理开发利用^[2-4]。随着中国矿产地质志的全面研编和新一轮找矿突破战略行动的实施, 我国在重点成矿区带、重要矿集区深部及周边找矿取得了新的突破, 尤其是三稀、铁、金、锂、石墨、萤石等战略性矿产资源的勘查方面取得了重要进展^[5-8]。

山东省作为我国主要的金矿和铁矿产出大省, 在胶东地区目前已探明黄金储量接近 6 000 t^[9], 达到了全国黄金总储量的 1/4 以上^[10-12]; 齐河—禹城

地区超深富铁矿的发现和勘查, 已提交富铁矿资源量超亿吨^[13]。同时在煤矿、地热以及稀有矿产勘查方面亦有所建树, 近年来, 曹县煤田张湾、青岗集勘查区发现大型优质焦煤田, 新增资源量超 10 亿 t^[14]; 探明山东全省浅层地热能年换热量折合标准煤 6.47 亿 t^[15]; 提交了我国第三大轻稀土矿床——郗山稀土矿, 新增稀土氧化物资源量 78.5 万 t^[16]。但有关于以铜为代表的有色金属矿床找矿工作则进展相对缓慢。

山东五莲七宝山地区作为山东省重要的有色金属矿集区, 目前已提交有金线头金铜矿床、七宝山银铅锌多金属矿床和钓鱼台硫铁矿床 3 个大中型矿床^[17]。近年来, 随着七宝山地区勘查和科研工作的不断投入, 在五莲七宝山已有矿床周边及深部陆续

收稿日期: 2025-02-10; 修订日期: 2025-02-19; 编辑: 王敏

基金项目: 山东省地矿局第八地质大队总工基金项目“五莲七宝山地区成矿系统特征与靶区优选”(DZG202403) 的成果

作者简介: 唐名鹰(1990—), 男, 湖北荆州人, 高级工程师, 主要从事地质勘查工作; E-mail: 353635085@qq.com

* 通信作者: 朱伟(1980—), 男, 安徽淮南人, 正高级工程师, 主要从事水工环地质工作; E-mail: zhuwei806@163.com

发现有长老庄、窑头等多金属矿产地,显示该区域有极大的找矿潜力^[18-19]。

五莲七宝山自明代万历三十五年即有开采记录,新中国成立后,最新的有文献记载的找矿及研究工作始于 1984 年,杨志达等^[20]对含金斑岩铜矿床的成矿特征及找矿方向进行了综述,其中提到了近年来山东七宝山地区新发现的含金斑岩铜矿床,随后邱德同、周炳煌等^[21-22]于 1986 年发表了有关七宝山金铜矿成矿特征地球化学等方面的论文,正式开启了五莲七宝山地区找矿和科学的研究工作。1986—1994 年,陈常富、陈克荣、邱检生等^[23-25]对七宝山火山-次火山杂岩体开展了一定的研究,发表了少量的论文,但后续有关于该地区的研究基本处于静止状态。1999 年后,随着矿山开发和投入的进一步增加以及新的找矿工作的开展,五莲七宝山地区成为新的热点^[26-29],为进一步统计该地区找矿研究工作进展情况,从整体上理清该地区问题研究的动态轨迹和研究趋势,本研究选取近 40 年七宝山地区所发表的论文,利用 CiteSpace 软件对主要文献在时间、作者和研究机构方面进行文献计量统计研究,通过关键词出现频率、共现以及随年代迁移变化,为后续找矿研究工作提供方向。

1 分析研究方法和数据处理

本次研究采用的 CiteSpace 软件是基于 Java 开发的可视化文献计量分析软件^[30]。其主要原理为利用数据统计和引文可视化的分析方法,对文献中科学知识的结构、规律和分布情况对某一领域/地区的研究轨迹、研究现状以及研究趋势进行综合分析和直观展示。其主要功能包括科研合作分析,重要期刊判断以及核心主题挖掘等。

为此,本次工作采用 CiteSpace 6.2 对七宝山地区找矿研究工作进行知识图谱的统计分析,以中国知网为数据库,利用“七宝山”“山东五莲”“金铜矿”等关键词进行主题检索,通过人工方式筛选与论文主题相关的参考文献,最终获取 92 篇参考文献。同时,基于 CiteSpace 软件格式要求及参考文献格式要求,本文进一步剔除了包括会议论文、新闻报道、毕业论文以及与矿山开采、选冶等内容的参考文献,最后获取 64 篇学术论文作为五莲七宝山矿集区矿产勘查研究回溯与前瞻的样本数据。尽管国内部分知名学者对该区也做了深入研究,由于软件限制,未被

中国知网收录的文献无法作为本研究的样本数据。此外,本文依托 Elsevier ScienceDirect 数据库收集了 2017—2024 年发表在 Ore Geology Reviews、Geological Journal、Minerals 等国外期刊上的 5 篇学术论文^[31-35],但由于存在语言差异,上述 5 篇论文在关系性的分析中呈现单独的聚集。

本研究采用“知识图谱”的研究方法对上述 69 篇论文文献数据(中国知网数据库 64 篇、Elsevier ScienceDirect 数据库 5 篇)进行统计分析,通过 CiteSpace 分析软件采集文献中的作者、作者单位、关键词等主要数据信息,并对论文文献进行共被引分析、关键词共现和聚类分析;此外,本研究将关键词作为时间线分析了五莲七宝山地区矿产勘查研究过程的研究趋势^[36-37]。通过上述研究,对五莲七宝山地区主要发文结构和研究作者的变迁进行统计分析,同时通过关键词的趋势研究,对整个地区已有研究情况和热点以及未来研究趋势进行可视化的展示,对后续研究的开展具有一定的参考意义。

2 文献基本特征分析

2.1 文献年代分布特征

将 1984—2024 年发表的文献以年为单位进行发文时间统计,结果见图 1。从图 1 中可以看出,五莲七宝山矿集区文献发表数量呈现明显阶段性分布,具体可分为 1984—1998 年、1999—2005 年和 2008—2024 年 3 个阶段。1984—1998 年,与五莲七宝山矿集区相关的论文数量为年均 1 篇(1993 年为 2 篇),未出现明显的热点,表明该区未受到国内外学者的广泛关注;1999—2005 年,五莲七宝山矿集区论文发表数量共计 15 篇(1999 年 4 篇,2002 年 3 篇,2003 年 4 篇,其他年份均为 1 篇),出现了第一个峰值,结合论文研究内容,该阶段论文发表数量增加与五莲七宝山矿集区金线头金铜矿的找矿突破关系密切;2008—2009 年,五莲七宝山矿集区矿产勘查工作实现重大突破,新发现七宝山银铅锌多金属矿床,累计提交银 150.3 t,铅锌 23.2 万 t。此外受 2010—2015 年矿业投入的大幅增加、2018—2024 年重点矿集区找矿工作开展和新一轮找矿突破战略的实施等政策影响,五莲七宝山矿集区成为新一轮的研究热点地区;与该区成矿作用有关的论文数量呈现明显增长,近 17 年共发表论文 42 篇,年均发文数量达到 2.47 篓。

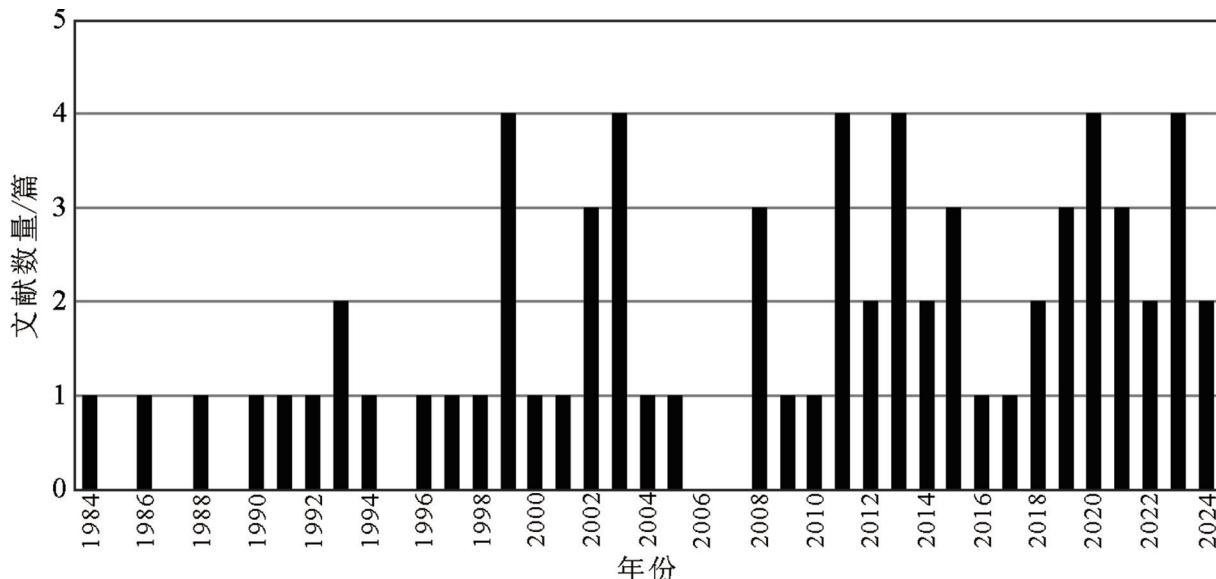


图 1 五莲七宝山地区发文量年度分布

2.2 文献来源期刊分析

本文 69 篇论文分别来自《山东国土资源》《岩石学报》《地质论评》《吉林地质》《黄金科学技术》《地质与勘探》等,其中《山东国土资源》共发表论文 12 篇,《岩石学报》和《地质论评》共发表论文 10 篇,其余杂志发表论文在 2~3 篇之间,排名前 6 位的期刊论文发表数量占所有论文总量的($n = 69$)总量的 44.93%。近年来,吉林大学、合肥工业大学研究团队在《Ore Geology Reviews》和《Minerals》等外文期刊发表了关于七宝山地区矿床成因研究和找矿技术方法研究的论文 4 篇。因此,研究人员在后期研究中可重点关注发表在外文期刊上与五莲七宝山矿集区相关的研究内容和进展。

表 1 五莲七宝山地区研究文献来源期刊

| 期刊 | 文献数量/篇 | 所占比例/% |
|-----------------------|--------|--------|
| 《山东国土资源》 | 12 | 17.39 |
| 《岩石学报》 | 5 | 7.25 |
| 《地质论评》 | 5 | 7.25 |
| 《吉林地质》 | 3 | 4.35 |
| 《黄金科学技术》 | 3 | 4.35 |
| 《地质与勘探》 | 3 | 4.35 |
| 《Ore Geology Reviews》 | 2 | 2.90 |
| 《Minerals》 | 2 | 2.90 |
| 《中国科学(D辑)》 | 2 | 2.90 |
| 《矿床地质》 | 2 | 2.90 |
| 《矿产与地质》 | 2 | 2.90 |
| 《矿产勘查》 | 2 | 2.90 |
| 《地质找矿论丛》 | 2 | 2.90 |

2.3 文献作者与发文机构分析

2.3.1 作者与共被引关系分析

通过对发文作者及其合作者之间的引用关系,可知晓某一研究领域研究团队的分布和主要研究作者之间的合作关系。通过 CiteSpace 软件得到了五莲七宝山矿集区论文作者的知识图谱,获取共现图谱节点 235 个,图谱连线 538 条,网络密度为 0.019 6,上述特征显示五莲七宝山矿集区研究团队具有一定的分散性。由图 2 可知,著作多且表现突出的科研团队包括李双飞科研团队(团队成员包括陈建、彭永和、邹占春等),王可勇科研团队(团队成员包括王承洋、王小武、张子军等),范宏瑞科研团队(团队成员包括胡芳芳、王永等)和张小允科研团队(团队成员包括刘立金、薛世强等)。

2.3.2 发文机构分析

本研究所统计的 69 篇论文中包括了山东省第八地质矿产勘查院、吉林大学地球科学学院、山东省第四地质矿产勘查院、中国科学院地质与地球物理研究所、山东省地质科学实验研究院、山东五莲县宝山矿业公司等 60 余个发文机构。上述发文机构合作知识图谱分析(图 3)结果显示共现图谱节点 97 个,图谱连线 89 条,网络密度为 0.019 1。其中发文机构知识图谱分析网络密度与发文作者知识图谱分析网络密度(0.019 6)基本一致,说明所有发文机构间合作关系不紧密,关联度较大的发文机构主要包括

括山东省第八地质矿产勘查院和吉林大学地球科学学院,中国科学院地质与物理研究所和山东省地质

科学实验研究院。

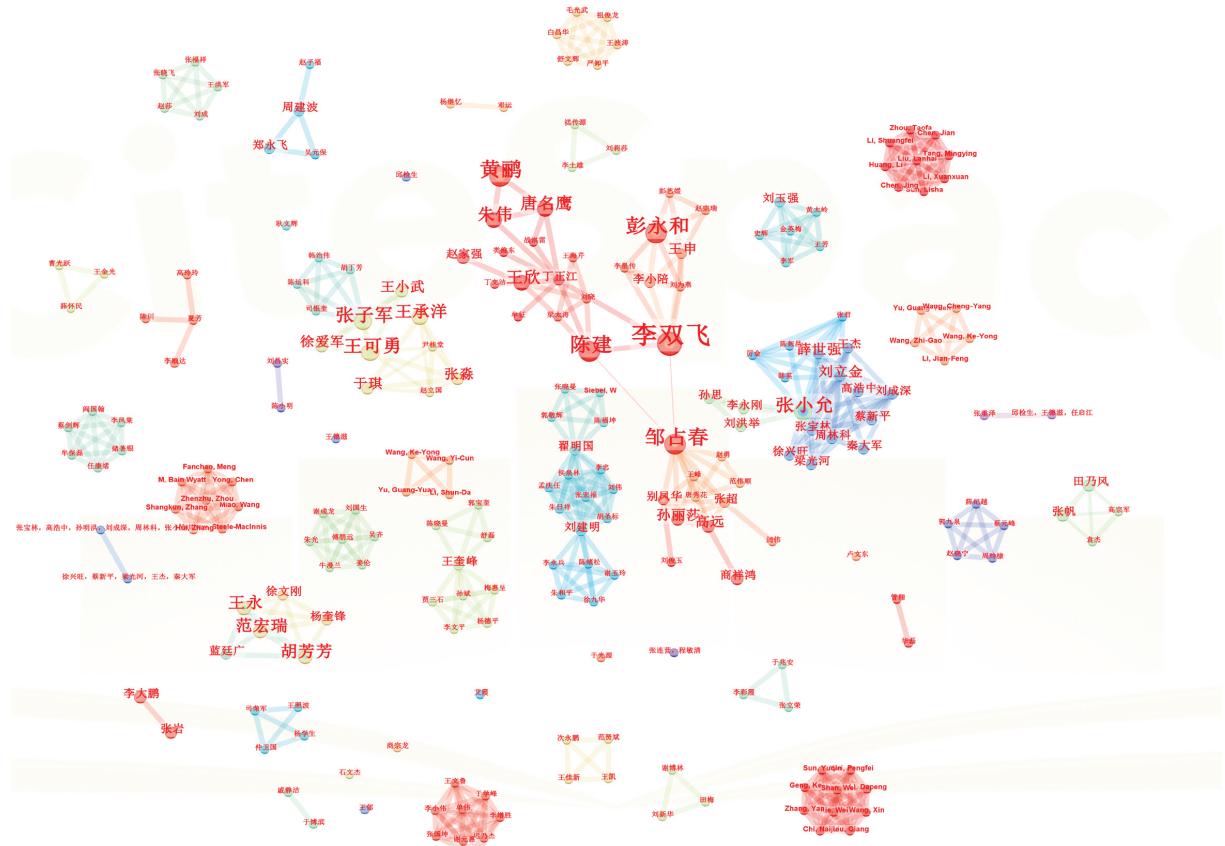


图 2 五莲七宝山地区发文作者知识图谱分析

在作者与共被引关系分析中,与王可勇科研团队表现明显关系的张子军、王小武等人,其对应的发文机构分别为吉林大学地球科学学院和山东省第八地质矿产勘查院,体现了山东省第八地质矿产勘查院与吉林大学地球科学学院之间的合作关系。同时,文中呈现聚团分布的外文文献所对应的发文机构分别为山东省第八地质矿产勘查院、合肥工业大学和吉林大学地球科学学院,这与作者与共被引关系中呈现聚团分布的英文作者相对应,其中吉林大学地球科学学院于光源、王森、王可勇等作者集中出现,山东省第八地质矿产勘查院李双飞、陈建等和合肥工业大学刘兰海、周涛发等表现了密切的合作关系以及山东省第八地质矿产勘查院王欣和山东省地质科学研究院孙雨沁、张岩等表现了一定的合作关系。

从上述分析来看,山东省第八地质矿产勘查院在五莲七宝山地区的矿产勘查研究占据了主导地

位,与图中发文较大的机构均呈现了合作关系,后续研究工作应重点关注该机构对于整个地区的研究认识和新发现。

3 研究演进趋势和研究热点分析

3.1 研究演进趋势分析

3.1.1 关键词共现分析

研究文献的关键词反映了该文献主要的研究领域、研究内容和核心观点,通过对文章关键词的知识图谱分析,可反映该地区的研究热点和各关键词之间的相互联系。CiteSpace 关键词可视化分析结果显示 69 篇论文共获取关键词 120 个,图谱连线 256 条,网络密度为 0.035 9。

从图 4 可以看出,关键词共现中频次较高的主要分为 2 类,第一类主要反映了区域特征,分别为七宝山、山东、山东省、山东五莲和胶东;另一类主要针

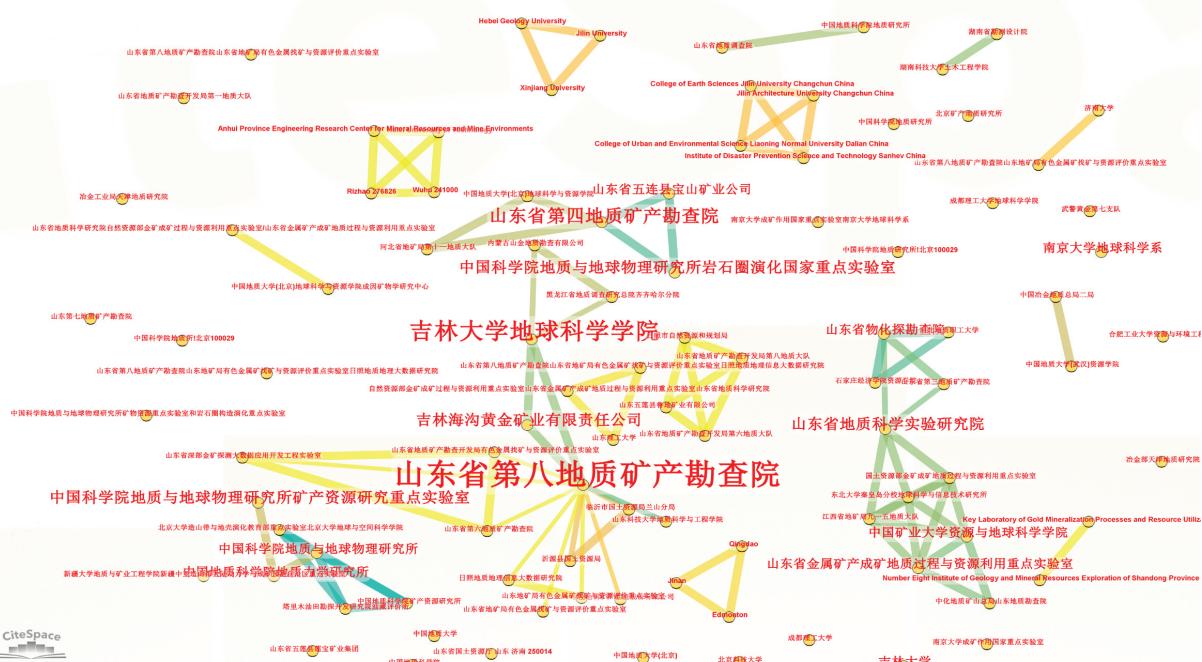


图 3 五莲七宝山地区研究机构合作知识图谱分析

对于矿床研究,比较典型的为金铜矿床、矿床成因、地球化学、地质特征、找矿标志、火山岩等。上述关键词的共现与五莲七宝山矿集区所开展的研究工作一致,符合矿床研究中的关键环节和研究方向。其中,节点的大小和关键词出现的频率、关键词外部层数与时间跨度和关键词之间的互动频率均呈正相关,说明围绕七宝山开展的工作紧密性和延续性均较好。

3.1.2 关键词时间区域分析

为进一步分析主要关键词聚类的历史演进关系和主要研究主题随时间的演变趋势,本文对文献中列出的关键词进行了聚类分析统计,并绘制了相应的关键词时间线图(图 5)。其中,除与七宝山、山东、山东省、山东五莲等区域名词相关的关键词外,研究的重点话题具有以下的变化。针对#2 花岗岩聚类来看,区内花岗岩与#5 地球化学、#6 矿床成因和锆石等密切相关,相应的研究多集中在 2010 年左右,研究内容多于成岩时代、构造环境等相关;针对#6 矿床成因来看,除与前述的花岗岩和岩石地球化学的关系外,矿床成因呈现了较为明显的时间分布特征,2010 年之前,针对矿床成因的研究多集中在铜金矿以及七宝山火山机构的特征研究,研究重点为找矿方向,2010 年以后,主要的研究重点为成矿预测和成矿远景分析,以及三位一体的找矿预

测等研究。除此之外,与#6 矿床成因关键词一致的成矿流体、找矿标志、成矿远景等关键词集中在#0 山东、#1 五莲县和#4 山东五莲的关键词聚类中,表现了与时间相关的研究重点的演变,如 2010 年之前,研究重点集中在角砾岩筒、成矿流体、金铜成矿等方面,2010—2020 年,研究重点则转变为多金属矿、矿床特征、成矿规律等方面,这与 2009 年七宝山银铅锌多金属矿的发现有关,2020 年以后,有关于七宝山的研究重点则出现了构造演化、物源、分散元素和三维模型等方面,表明七宝山地区的研究更为接近于矿物学和大数据分析,这与主流的矿床研究趋势基本一致。

3.2 研究热点分析

3.2.1 关键词的聚类分析

在演进趋势的分析中,对主要的关键词的聚类时间线的演进进行了分析,发现针对七宝山地区的研究,呈现了较为明显的两方面,一是与岩石学相关的成岩时代、构造背景等研究,二是与矿床学相关的矿床特征和成矿机制的研究。通过 CiteSpace 的关键词聚类图(图 6),七宝山地区关键词聚类标签依次为山东、五莲县、花岗岩、山东省、山东五莲、地球化学、矿床成因、杏山峪。

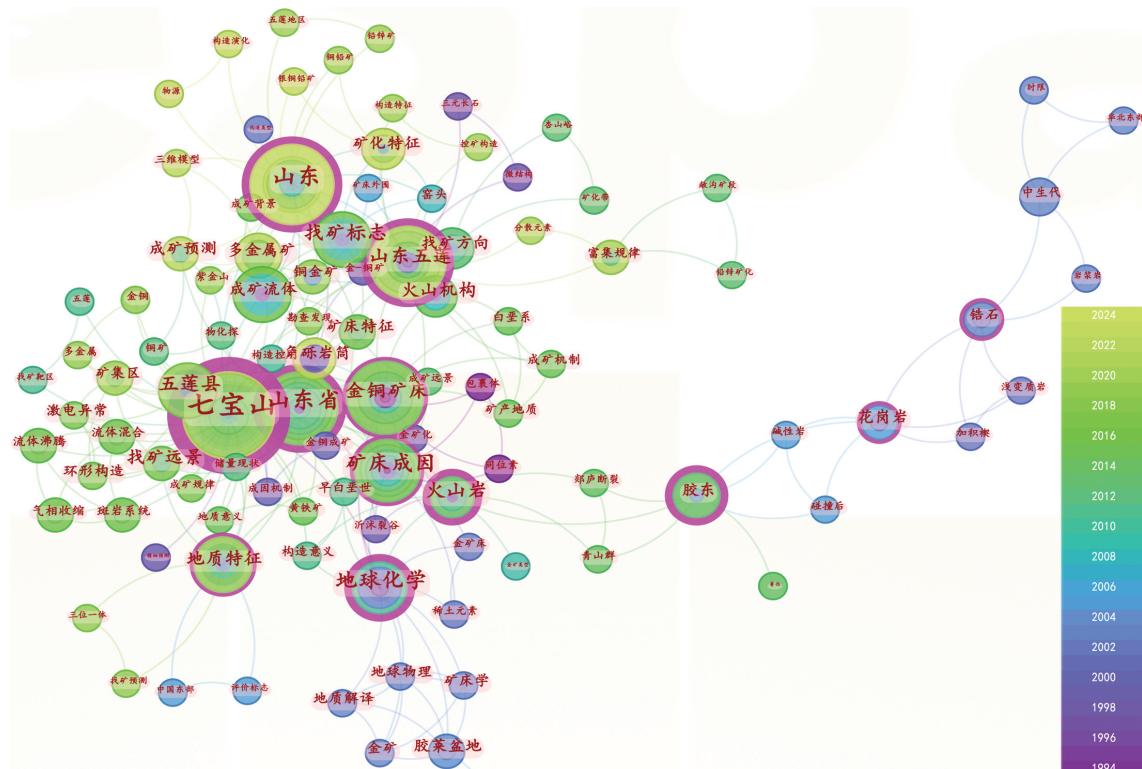


图 4 五莲七宝山地区关键词网络共现图

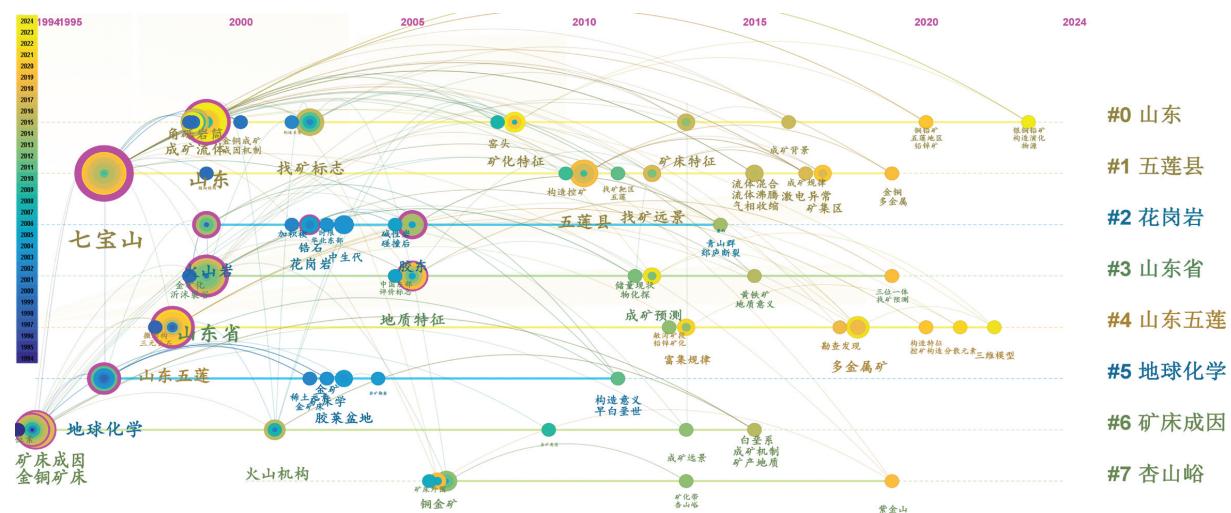


图 5 五莲七宝山地区关键词时间线图

为进一步探究五莲七宝山地区的研究热点和知识结构,对聚类内的关键词展开综合分析。在关键词的聚类中, #2 花岗岩和 #5 地球化学表现了较为独立的聚类,这与关键词时间线分析中的聚类分析基本一致,其中 #2 花岗岩聚类包含了火山岩、胶东、锆石、中生代、碱性岩等关键词,反映了与岩石成

因和成岩时代相关研究; #5 地球化学则包含了胶莱盆地、早白垩世、矿床学、构造意义、地球物理等关键词信息,更多的反映了与矿床成岩相关的地球化学和成岩背景的研究,这与花岗岩的年代学的研究是相辅相成的。#1 五莲县和 #3 山东省则表现了相对集中的聚类,包含了七宝山、地质特征、成矿预

测、找矿远景等关键词信息，重点反映了该地区的主要找矿工作方向。#0 山东、#4 山东五莲和#7 杏山峪的综合聚类，包含了找矿标志、找矿方向、成矿流体、矿床特征、矿化特征、角砾岩筒、火山机构以及富集规律等关键词，反映了该地区的综合找矿研究工作，主要集中在七宝山火山机构和已有矿床的矿

床地质特征和矿物学研究等方面,对已有找矿标志进行总结,指导下一步的找矿方向。#6 矿床成因主要包含了金铜矿床、包裹体、同位素和成矿远景的分析,更多的反映了五莲七宝山地区金线头金铜矿的研究重点和研究方向。

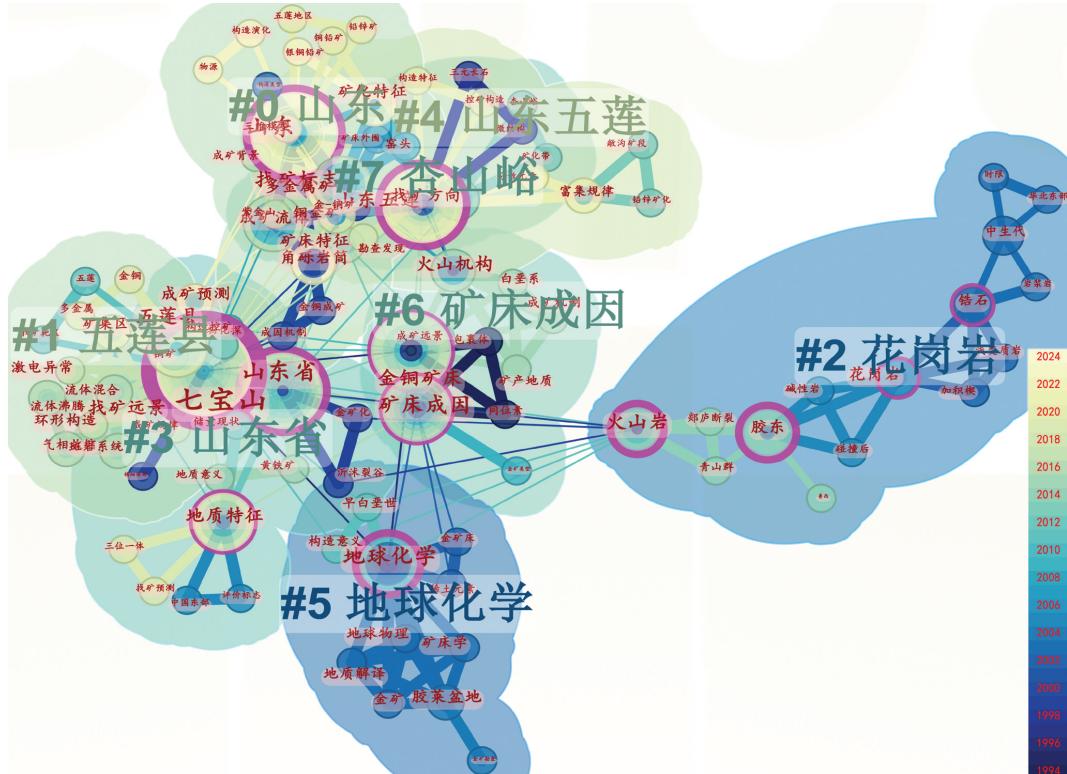


图 6 五莲七宝山地区关键词聚类图

3.2.2 关键词的突显分析

在明确重点关键词的聚类分析的基础上,对相互独立的关键词进行突显分析,可重点反映该段时间内五莲七宝山地区研究议题的集中关注度。通过关键词突显强度图(图 7)可以看出,区内研究的发展历程可大致划分为 3 个阶段。

1994—2004年,主要以五莲七宝山地区次火山杂岩体研究和赋存于角砾岩筒中的金线头金铜矿床的矿床研究为主,突显的关键词为角砾岩筒、地球化学、锆石等;2006—2010年,则重点反映了七宝山地区找矿方向的研究和针对金线头金铜矿开展的有关流体包裹体的研究,首次提出七宝山地区深部斑岩矿床的可能性,突显的关键词为找矿方向、斑岩矿床;2010—2024年,由于五莲七宝山银铅锌多金属

矿的发现,研究的重点则转向了整个五莲七宝山地区杂岩体外围及深部的找矿研究以及各矿床间的成因联系,突显的关键词为铅锌、金铜矿床、多金属矿。

从上述分析可以看出,不同研究阶段的研究议题和关键词的突显反映了该地区的研究热点,这也伴随着区内找矿工作的新发现和重点勘查展开。如2000年以后,金线头金铜矿的深部勘查伴随着角砾岩筒深部及外围找矿和研究的进行,通过石英颗粒中高温高盐度沸腾包裹体的发现,提出了深部存在斑岩矿床的可能性^[38],这也为后续五莲七宝山地区找矿工作提供了重要的理论基础。同时2009年随着七宝山银铅锌多金属矿的勘查发现,后续的工作重点则转为铅锌多金属矿床的研究和七宝山地区的各矿床间的成因联系的研究。

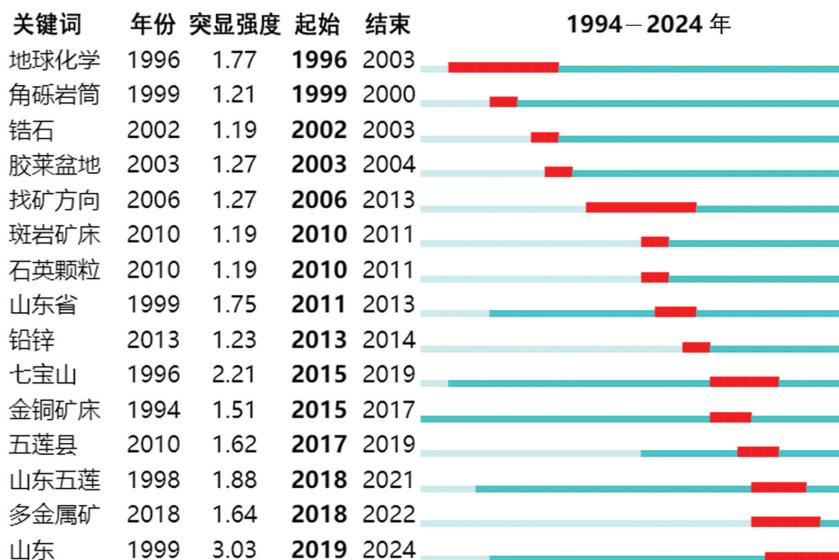


图 7 五莲七宝山地区关键词突显强度图

4 展望

4.1 研究结论

本研究通过 CiteSpace 软件对中国知网(CNKI)数据库中发表的有关五莲七宝山地区涉及找矿和科研工作的文献进行了数量分布、期刊分布、文献作者与结构、关键词的演进和热点分析,得到以下结论:

(1)五莲七宝山地区的研究文献呈现了明显的阶段性分布特征,出现短暂的发文高峰期与区内矿床找矿突破和矿业投入的大幅增加有关。同时,2018 年以后重点矿集区找矿工作的开展和新一轮找矿突破战略的实施,使得七宝山地区找矿研究工作依旧热度不减。

(2)在文献的作者、机构分析中,以李双飞高级工程师为代表的山东省第八地质矿产勘查院研究团队占据了主导地位,这与该机构长期在五莲七宝山地区开展勘查和科学的研究工作密不可分,后续应重点关注该机构在该地区的研究认识和新发现,以便指导区域找矿研究工作。

(3)在文献的关键词分析中,关键词主要集中于矿床成因、地球化学、地质特征、找矿标志上,这均与区内找矿工作密切相关。从关键词的演进趋势来看,五莲七宝山地区的研究工作从单一的找矿方向研究逐步向找矿预测、三维建模等方向发生转变,这也反映了该地区当前阶段和下一阶段的研究热点和

演进趋势,同时,矿物学的精细研究也促进了该地区找矿科研工作的发展。而关键词的突显则更多的反映了区内研究矿床的转变。

4.2 展望

山东五莲七宝山地区作为山东省重要的有色金属矿产区,发育多类型、多型式的金及多金属矿床,如隐爆角砾岩型金线头金铜矿、构造热液型七宝山银铅锌多金属矿和火山喷发热液型钓鱼台硫铁矿,以往研究针对七宝山次火山杂岩体形成时代^[24,28,39-40],和矿床成因^[28,31-34,38,41-43]等方面开展了大量的研究。同时范伟顺、王欣和 LIU 等通过对五莲七宝山地区地球物理地球化学特征^[44]、三维建模预测^[19]以及短波红外光谱研究^[35]等技术研究工作,对该地区下一步找矿重点方向提供了指导。

自 2016 年以来,山东省第八地质矿产勘查院在五莲七宝山地区实施了多个国家级和省财政项目,以及山东省地矿局控勘查和科研项目,同时投入了大量自主资金用于该地区的找矿工作,在成岩成矿时代、地球物理成矿特征和深部找矿方面取得了丰硕的地质成果。因此,在后续的工作中,应进一步加强现有地质资料的二次开发和利用,对成矿地质背景和控矿因素进行分析总结,综合评价矿床已有信息,结合科技创新工作,以指导深部和外围找矿突破。

参考文献:

- [1] 毛景文,刘敏,姚佛军,等.当前中国找矿勘查值得关注的问题

- 与发展方向[J].矿床地质,2024,43(6):1211–1222.
- [2] 裴荣富,李莉,王浩琳.矿产地质勘查与矿业可持续发展的科学技术模拟[J].矿产保护与利用,2009,29(1):7–12.
- [3] 梅燕雄,杨德凤,叶锦华,等.中国矿产资源战略问题[J].中国矿业,2008,17(6):11–13.
- [4] 梅燕雄,裴荣富,魏然,等.关键矿产与能源资源安全[J].中国矿业,2022,31(11):1–8.
- [5] 王登红.矿床成矿系列与成矿预测研究新进展:“《中国矿产地质志》·成矿系列与找矿方向”专辑特邀主编寄语[J].地球学报,2023,44(4):559–564.
- [6] 王登红,代鸿章,刘善宝,等.中国战略性关键矿产勘查开发进展与新一轮找矿的建议[J].科技导报,2024,42(5):7–25.
- [7] 包书景,郭天旭,白忠凯,等.中国地质调查局新一轮找矿突破战略行动油气调查工作成果与进展[J].中国地质,2024,51(3):714.
- [8] 马玉波,张永生,陈伟,等.2023年新一轮找矿突破战略行动主要科研成果[J].矿床地质,2024,43(1):225–226.
- [9] 宋明春,王洪军,刘洪波,等.胶西北金矿控矿断裂深部特征及对找矿的启示:来自地球物理探测的证据[J].中国地质,2024,51(1):1–16.
- [10] YANG L Q, DENG J, WANG Z L, et al. Thermochemical constraints on evolution of the Linglong Metamorphic core complex and implications for gold mineralization: A case study from the Xiadian gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. Ore Geology Reviews, 2016, 72: 165–178.
- [11] DENG J, YANG L Q, GROVES D I, et al. An integrated mineral system model for the gold deposits of the giant Jiaodong province, eastern China[J]. Earth – Science Review, 2020, 208: 103274.
- [12] 宋明春,林少一,杨立强,等.胶东金矿成矿模式[J].矿床地质,2020,39(2):215–236.
- [13] 朱学强,王来明,郝兴中,等.山东省齐河-禹城地区富铁矿地质特征及找矿预测[C]//华东六省一市地学科技论坛文集.山东省地质学会,2023:204–216.
- [14] 张增奇,梁吉坡,李增学,等.山东省煤炭资源与赋煤规律研究[J].地质学报,2015,89(12):2351–2362.
- [15] 胡松涛,张新文,邵琦,等.山东省浅层地温能调查评价综合研究报告[R].山东省地矿工程集团有限公司,2017.
- [16] 兰君,张鹏,邢楠,等.鲁西微山稀土矿床同位素特征及成矿物质来源指示[J].地质与勘探,2023,59(4):747–759.
- [17] 彭永和,王申,李小陪,等.山东五莲七宝山多金属矿床勘查发现及启示[J].山东国土资源,2018,34(10):57–61.
- [18] 黄鹂,闫伟,李双飞,等.山东五莲七宝山长老庄隐爆角砾岩特征及其找矿指示[J].矿产勘查,2020,11(8):1630–1635.
- [19] 王欣,陈建,李大鹏,等.山东五莲七宝山地区多金属矿体三维模型预测与评价[J].山东国土资源,2022,38(6):10–15.
- [20] 杨志达,李晓明.含金斑岩铜矿床的成矿特征及找矿方向[J].黄金地质参考资料,1984(4):5–17.
- [21] 邱德同,孔令刚.山东省七宝山角砾岩筒型金铜矿床的地质地球化学特征[J].地质与勘探,1986,22(5):7–12.
- [22] 周炳煌.山东五莲七宝山金铜矿特征及与隐爆角砾岩筒关系的探讨[J].地质找矿论丛,1986,1(3):59–67.
- [23] 陈常富.山东五莲七宝山式金矿:一个与火山机构岩浆演化有关的金铜矿床[J].地质科技情报,1992(1):57–62.
- [24] 陈克荣,潘永伟,陈小明.山东五莲七宝山早白垩世破火山口与火山-侵入杂岩特征和成因[J].南京大学学报(自然科学版),1993,29(1):92–103.
- [25] 邱检生,王德滋,任启江,等.山东五莲七宝山火山-次火山杂岩的演化及形成条件[J].矿物岩石,1993(4):1–10.
- [26] 张小允,刘立金,陈恕昌,等.山东五莲七宝山金铜矿控矿因素及找矿方向[J].山东地质,2001,17(增刊1):82–85.
- [27] 于兆安,李彩霞,张立荣.山东五莲七宝山窑头隐爆角砾岩筒矿化特征及意义[J].山东国土资源,2008,24(5):27–29.
- [28] 王永,范宏瑞,胡芳芳,等.山东五莲七宝山Cu-Au矿床成矿流体特征及成矿作用[J].岩石学报,2008,24(9):2029–2036.
- [29] 田乃风,张帆,高宗军,等.山东五莲七宝山铜及多金属矿床成矿地质特征及找矿方向[J].山东国土资源,2011,27(4):8–11.
- [30] CHEN C M. CiteSpace II : Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359–377.
- [31] YU G Y, LI S D, WANG Y C, et al. Fluid Evolution and Ore Genesis of the Qibaoshan Polymetallic Ore Field, Shandong Province, China: Constraints from Fluid Inclusions and H-O-S Isotopic Compositions[J]. Minerals, 2019, 9(7): 394–394.
- [32] YU G Y, WANG Z G, WANG K Y, et al. The magma evolution sequence and geodynamic setting in the Qibaoshan ore area, Wulian County, Shandong Province, China[J]. Geological Journal, 2019, 54(3): 1238–1253.
- [33] WANG M, CHEN Y, BAIN W M, et al. Fluid evolution of a hematite-dominated, magmatic-hydrothermal Cu-Au deposit at Qibaoshan, Shandong Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 2021, 162: 131.
- [34] SUN Y Q, WANG X, ZHANG Y, et al. Cu-S Isotopes of the Main Sulfides and Indicative Significance in the Qibaoshan Cu-Au Polymetallic Ore District, Wulian County, Shandong Province, North China Craton[J]. Minerals, 2023, 13(6): 723.
- [35] LIU L H, CHEN J, LI X X, et al. Short wavelength infrared (SWIR) reflectance spectroscopy of alteration minerals of Qibaoshan ore district, Shandong Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 2024, 165: 105868.
- [36] 张力,赵星,叶鹰.信息可视化软件CiteSpace与VOSviewer的应用比较[J].信息资源管理学报,2011,1(1):95–98.
- [37] 赵丙军,王曼霞,司虎克.基于CiteSpace的国内知识图谱研究[J].图书情报工作网刊,2012(8):23–31.
- [38] 孙思,李永刚,张小允,等.山东七宝山隐爆角砾岩型金铜矿床含矿蚀变斑岩石英颗粒中高温高盐度沸腾包裹体的发现及其意义[J].岩石学报,2010,26(11):3319–3326.
- [39] 于光源.山东五莲七宝山矿田金-铜多金属成矿作用及成矿预

- 测[D].长春:吉林大学,2020.
- [40] 李双飞,陈建,唐名鹰,等.胶莱盆地南缘五莲地区七宝山多金属矿床硫化物 Rb-Sr 年龄及其地质意义[J].地球科学与环境学报,2023,45(5):1149-1161.
- [41] 陈绪松,徐九华,刘建明,等.山东金青顶金矿床和七宝山金矿床的流体包裹体 REE 组成[J].矿床地质,2002,21(4):387-392.
- [42] 徐文刚,范宏瑞,胡芳芳,等.山东七宝山隐爆角砾岩型 Cu-Au 矿床流体包裹体及成矿流体演化特征[J].岩石学报,2015,31(4):1015-1030.
- [43] 唐名鹰,战洪雷,陈建,等.山东五莲七宝山铅锌多金属矿床硫化物微量元素分布特征及地质意义[J].黄金科学技术,2024,32(5):830-846.
- [44] 范伟顺,邹占春,唐秀花,等.五莲县七宝山多金属矿化特征及地球物理地球化学特征[J].山东国土资源,2018,34(2):18-23.

Backtracking and Prospect of Mineral Exploration Research in Qibaoshan Ore Concentration Area of Wulian County in Shandong Province

——Visual Analysis Based on CiteSpace Knowledge Map

TANG Mingying^{1,2}, ZHANG Chao², ZHU Wei¹, SUN Lisha¹, WANG Xin¹, HUA Lei¹, LI Fuhua¹, ZOU Zhanchun¹, PENG Yonghe¹

(1. No.8 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources (No.8 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province), Key Laboratory of Nonferrous Metal Ore Exploration and Resource Evaluation of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao 276826, China; 2. Resources and Environmental Engineering College of Shandong University of Technology, Shandong Zibo 255000, China)

Abstract: In recent years, accompanying with the deepening of mineral exploration and scientific research, as an important gathering area for non-ferrous metal deposits, Qibaoshan area in Wulian county in Shandong province has shown great potential for mineral exploration. Clarifying the evolution process of mineral exploration and research hotspots in this area is of great significance for exploring the genesis of mineral deposits and guiding the direction of subsequent mineral exploration. In this paper, papers related to mineral exploration research in Qibaoshan area in Wulian county published on China National Knowledge Infrastructure and Elsevier Science Direct database from 1984 to 2024 have been obtained. By using CiteSpace software, evolutionary trends of the authors, research institution and key words in published papers have been analyzed. The research results show that the average number of published papers per year is positively correlated with the breakthrough achievements in mineral exploration and the increase in mining capital investment in Qibaoshan area. Moreover, No.8 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, which has long been rooted in Qibaoshan area and engaged in mineral exploration and scientific research, occupies a dominant position in the publication of papers. The trend of keyword evolution indicates that research on non-ferrous polymetallic deposits in the Qibaoshan area has shifted from a single exploration direction to mineralization prediction, 3D modeling and other directions. The refined study of mineralogy has also become one of the hotspots in mineral exploration work in Qibaoshan area. Based on analysis of the paper data, it is suggested that the mineral exploration work in Qibaoshan area should strengthen the secondary development and utilization of geological data on the basis of comprehensive evaluation of existing geological information of the deposit, deeply explore the hidden information of data, and combine scientific and technological innovation achievements to provide theoretical support for breakthroughs in deep and peripheral mineral exploration in the Qibaoshan area.

Key words: CiteSpace; research hotspot; visualization analysis; Qibaoshan ore concentration area of Wulian county; Shandong province