



移动扫码阅读

赵艳玲,李素萃,肖 武.我国采煤沉陷领域研究现状可视化分析与展望[J].煤炭科学技术,2020,48(1): 202-210. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.01.026  
ZHAO Yanling,LI Sucui,XIAO Wu.Visualization analysis and prospect of the current research situation in the field of coal mining subsidence in China[J].Coal Science and Technology,2020,48(1): 202-210. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.01.026

# 我国采煤沉陷领域研究现状可视化分析与展望

赵艳玲<sup>1</sup>,李素萃<sup>1</sup>,肖 武<sup>2</sup>

(1.中国矿业大学(北京) 土地复垦与生态重建研究所,北京 100083;2.浙江大学 公共管理学院,浙江 杭州 310058)

**摘 要:**为厘清采煤沉陷相关研究时间与主要科研力量及平台的分布、知识网络的研究热点、研究前沿及发展趋势,以 CNKI 收录的 1992—2018 年的 1 371 篇采煤沉陷相关研究文献为研究对象,利用文献计量法从年度发文趋势、研究机构和作者合作分析、发文期刊、关键词共现分析和突现词检测等方面进行可视化分析、绘制知识图谱及展望的相关研究。研究结果表明:①国内采煤沉陷领域发文数量经历了平稳起步探索-加速发展-稳定发展。②研究机构力量以高校、实验室及科研院所为主,高校力量以中国矿业大学、中国矿业大学(北京)与安徽理工大学为主导;形成了“高校-企业-研究院”的较紧密的科研合作圈;筛选了该领域国内影响力较大的期刊。③利用关键词共现分析确定了“采煤沉陷区、复垦和综合治理”等研究热点,形成了采煤塌陷地、景观过程和综合治理等 14 个聚类。④利用关键词共现分析结果的突现检测分析将该领域研究前沿分成 3 个阶段,即 1992—2008 年的研究起步与平稳发展阶段、2009—2013 年的平稳运行发展深化阶段,以及 2014—2018 年的酝酿和深化前期研究内容的稳定发展阶段。基于此,确定了采煤沉陷区综合治理与生态修复政策的制定与精准落实,全国采煤沉陷区基本情况的摸底调查,综合治理与生态修复的关键技术体系及综合治理与生态修复的规划编制、机制和标准等研究内容将成为今后的研究重点。

**关键词:**采煤沉陷;综合治理;生态修复;Citespace;文献计量;可视化

**中图分类号:**TQ53      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2020)01-0202-09

## Visualization analysis and prospect of current research situation in field of coal mining subsidence in China

ZHAO Yanling<sup>1</sup>,LI Sucui<sup>1</sup>,XIAO Wu<sup>2</sup>

(1.College of Geoscience and Surveying Engineering,China University of Mining & Technology(Beijing),  
Beijing 100083,China;2.Department of land management,Zhejiang University,Hangzhou 310058,China)

**Abstract:** Research purpose is to clarify the spatial-temporal distribution of related research on coal mining subsidence areas, research hotspots, frontiers and development paths of its knowledge networks. Research process and method were discussed that used bibliometrics to achieve visualization analysis and knowledge map from the annual publishing trend, cooperative analysis of institutions and authors, publishing journals, keywords co-occurrence analysis and burst terms detection, etc. Study subjects were 1 371 papers collected from 1992 to 2018 in CNKI. And future research was prospected. Results showed:① Number of papers published in the field of mining subsidence in China has experienced the steady start exploration, accelerated development and stable development. ② Research institutions are mainly consisted of universities, laboratories and scientific research institutes, and strength of universities is dominated by China University of Mining and Technology, China University of Mining and Technology (Beijing) and Anhui University of Technology. A scientific research cooperation circle of "university-enterprise-research institute" has been formed. And the journals with great influence are selected. ③ Based on the co-occurrence analysis of keywords, the research hotspots of "mining subsidence area, reclamation and comprehensive treatment"

收稿日期:2019-06-12;责任编辑:赵 瑞

基金项目:中国工程院学部咨询项目(2019104110010)

作者简介:赵艳玲(1976—),女,河北沧州人,教授。E-mail:zhaoyl7677@163.com

通讯作者:肖 武(1983—),男,湖南涟源人,研究员。E-mail:xiaowuw@126.com

are identified, and 14 clusters of mining subsidence land, landscape process and comprehensive treatment are formed. ④ The research frontier is divided into three stages by using the outburst detection and analysis of keyword co-occurrence analysis results, namely, the research start and steady development stage in 1992—2008, the stable operation development deepening stage in 2009—2013, and the stable development stage of the brewing and deepening of the previous research content in 2014—2018. Conclusion is that the formulation and implementation of comprehensive management and ecological restoration policies for coal mining subsidence areas, the basic investigation of the situation of coal mining subsidence areas, the key technical systems, mechanism planning and standards of comprehensive management and ecological restoration will become the future research focus.

**Key words:** coal mining subsidence; comprehensive treatment; ecological restoration; Citespace; bibliometric; visualization

# 0 引 言

我国 90% 以上的煤炭产量产于井工开采<sup>[1]</sup>, 因开采强度与规模的加大使采煤区地面塌陷严重。平均每采出 10 kt 原煤其土地沉陷面积为 0.2 hm<sup>2</sup>; 沉陷面积已达 135 万 hm<sup>2</sup>, 并以 7 万 hm<sup>2</sup>/a 的速度递增<sup>[2]</sup>。采煤沉陷后陆地生态环境变为水生生态环境, 形成大面积采煤沉陷积水区<sup>[3]</sup>, 导致耕地减少、建(构)筑物损坏、植被破坏、水土流失及水气污染等问题。而加强采煤沉陷相关研究是解决当前生态环境与景观破坏问题的重要途径。随着国家“十三五”规划对“全面推进采煤沉陷区改造转型”的明确、《采煤沉陷区综合治理专项管理办法(试行)》的颁布、国家发改委对 33 个重点采煤沉陷区治理工程实施方案的批复、采煤沉陷区综合治理部际联席会议制度建立的审批及 2018 年中央财政对采煤塌陷区转移支付等重大举措, 促使采煤沉陷相关研究成为国内学者的研究热点, 促进矿区经济、社会和生态的可持续发展。

当前已有采煤沉陷相关研究是以挖掘具体研究方向的文字型为主, 未能直观表明采煤沉陷相关研究的时空分布、知识网络的研究热点、研究前沿及发展趋势。文献计量学是研究文献情报分布结构、数量及变化规律等的科学工具<sup>[4]</sup>。Citespace 软件对一定时期内某研究领域的全部文献进行全面精准的可视化分析, 挖掘出文献大数据中蕴含的潜在知识<sup>[5]</sup>。笔者以 CNKI 数据库中的与“采煤沉陷区、采煤塌陷区、采煤沉陷、采煤塌陷、沉陷区、塌陷区、沉陷地或塌陷地”的主题相关文献为数据源, 利用 Excel 和 Citespace 对检索的与采煤沉陷相关文献开展时间分布与合作分析、关键词共现分析及突现词检测, 研究采煤沉陷领域的可视化, 探讨研究动态及明确研究热点和前沿, 以期为采煤沉陷的后续研究提供理论参考。

# 1 数据来源及方法

1) 数据来源。检索数据库为 CNKI, 采集时间

2018 年 8 月 25 日, 主题为“采煤沉陷区、采煤塌陷区、采煤沉陷、采煤塌陷、沉陷区、塌陷区、沉陷地或塌陷地”, 期刊类型为 SCI、Ei 和核心, 时间为 1992—2018 年, 共 1 463 篇文献。通过人工检阅去除会议纪要及与检索主题相关度较低的文献, 筛选出 1 371 篇。数据下载方式采用全记录、Refworks 和引用的参考文献格式。

2) 研究方法为文献计量学。Citespace 软件是利用共引分析、寻径网络算法和 Java 对某一领域文献开展计量, 并能对学科领域演化的关键路径和知识拐点、学科演化潜在动力机制及学科发展前沿的分析与探测的信息知识图谱的可视化软件<sup>[6]</sup>。笔者利用 Excel 和 Citespace 软件对文献进行数据格式转换, 时区、节点类型、阈值、剪枝、功能及可视化方式等配置参数确定, 网络结构及聚类清晰度判断及数据挖掘和计量分析等处理, 总结出采煤沉陷相关研究的时间与主要科研力量及平台的分布特征、知识基础、前沿热点及发展趋势。

# 2 结果与分析

## 2.1 发文数量时间分布特征分析

文献计量学利用科技文献的增长与老化规律揭示某研究领域的发展历程<sup>[7]</sup>。发文数量的时间统计分析反映该领域的发展状况, 对预测其研究前景提供一定参考。国内采煤沉陷相关研究的发文数量经历了平稳起步探索—加速发展—稳定发展 3 个阶段(图 1), 整体为先平稳式发展到陡坡式增长再趋于微浮动稳定发展, 表明国内学者对采煤沉陷相关研究的不断深入及重视。

1992—2001 年文献出版数 113 篇, 出版文献速率为 12.56 篇/年; 处于提出问题、总结理论基础及形成该领域基本概念的平稳起步探索阶段。1989 年《土地复垦规定》正式实施、1995 年《土地复垦技术标准》(试行) 和 1998 年《土地管理法》的颁布均为采煤沉陷相关研究的理论探索与初创提供了法律条文与标准的支持。该阶段主要侧重于采煤塌陷动态演变规律及治理<sup>[8]</sup>、塌陷预测及精度分析<sup>[9]</sup>、开

采沉陷对耕地环境影响研究<sup>[10]</sup>、复垦技术与开发利用模式<sup>[11-12]</sup>、复垦环境经济分析<sup>[13]</sup>与生态环境治理途径等内容的探索。

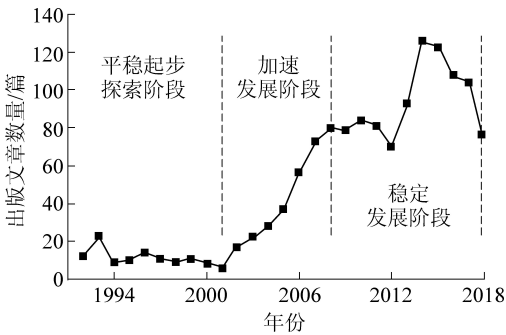


图 1 采煤沉陷相关研究的文献出版数量(1991—2018 年)

Fig.1 Quantity of published papers on coal mining subsidence research from 1991 to 2018

2002—2008 年文献出版数 314 篇,年均出版文献数 39.25 篇,分别是平稳起步探索阶段的 2.78 和 3.13 倍;其以 10.57 篇/年的增长速度使采煤沉陷相关研究处于加速增长阶段,与 2000 年首届国际土地复垦与生态重建学术研讨会的召开、2001 年国家投资开发整理项目的实施、2006 年国务院七部委《关于加强生产建设项目土地复垦管理工作的通知》的发布和 2007 年《关于组织土地复垦方案编报和审查有关问题的通知》的出台等背景相吻合,推动了采煤沉陷区的沉陷数值模拟<sup>[14]</sup>、变形机理<sup>[15]</sup>及稳定性综合监测与评价<sup>[16]</sup>,复垦材料、时机、土壤剖面构造与标高设计及土壤质量<sup>[17-18]</sup>,以及土地质量空间变化<sup>[19]</sup>、水域环境现状评价<sup>[20]</sup>、煤粮复合区耕地损毁及其影响<sup>[21]</sup>、综合治理费用区域经济影响<sup>[22]</sup>及生态修复对策<sup>[23]</sup>等研究内容的发展,实现理论奠基的完善和大量实证研究的发表,表明该期间采煤沉陷相关研究的热度不断上升。

2009—2018 年文献出版数 944 篇和年均出版文献数 94.40 篇,分别是平稳起步阶段的 8.35 和 7.52 倍,及加速发展阶段的 3.00 和 2.41 倍;以 2.50 篇/年的增长数使国内采煤沉陷相关研究进入一个稳定发展的阶段;2011 年《土地复垦条例》和 2016 年《采煤沉陷区综合治理专项管理办法(试行)》的颁布及 2017 年重点采煤沉陷区治理工程实施方案的批复等国家政策的支持相吻合;关注于采煤沉陷区中土地生态质量评价模型及动态变化<sup>[24]</sup>、动态沉陷区建筑复垦技术<sup>[25]</sup>、边采边复动态复垦<sup>[3]</sup>及引黄河泥沙充填复垦技术<sup>[26]</sup>、沉陷积水区水体化学特征及影响因素<sup>[27]</sup>、土地沉降预测模型<sup>[28]</sup>、土壤与植被损害过程及机理分析<sup>[29]</sup>、动植物群落结构<sup>[30]</sup>及生物量的反演<sup>[31]</sup>等,重视解决采煤沉陷与生态演变规律、煤炭开采引发的沉陷区地表土壤水分特性及生物量的影响、适生群落结构的构建、次生湿地与土壤重构、微生物修复技术及采煤沉陷区公共服务平台等的研究。随着 2018 年中央财政部对采煤塌陷区转移支付 55.12 亿元和第二批重点采煤沉陷区综合治理工程实施方案的批复等举措的实施,其必提升对采煤沉陷研究重视程度。

2.2 主要研究力量及平台

2.2.1 发文机构合作分析

在发文机构力量的对比中(图 2),节点大小与发文量成正比,节点与科研机构一一对应。其中,中国矿业大学环境与测绘学院、中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所和安徽理工大学地球与环境学院以发文比分别为 5.84%、3.57%和 3.43%成为该领域的核心科研机构力量,其余机构发文比均低于 2.00%。统计发文量前 20 位的一级科研机构情况(表 1),发现其主要由高校、重点实验室和科研



图 2 机构合作网络图谱

Fig.2 Network map of institutional cooperation



院组成,且中国矿业大学、中国矿业大学(北京)和安徽理工大学以 9.34%、6.43%和 5.11%的发文比成为主导力量;发文机构主要集中于安徽、江苏、北京、内蒙古、山西等矿产资源型地区。

2.2.2 发文作者合作分析

分析发文作者合作的知识图谱(图 3)可知,发文最多的作者是中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所的胡振琪(44 篇),严家平、肖武、毕银丽和易齐涛等学者为采煤沉陷相关研究的发展做出了贡献;作者间合作年份及关系紧密程度可用作者间连线的不同颜色和粗细程度表征,形成了 1 个比较明显的科研合作圈,即以胡振琪、肖武、赵艳玲、

陈永春、郑刘根、范廷玉、严家平、徐良骥、易齐涛、李慧等为代表的联合中国矿业大学(北京)土地复垦与生态重建研究所、淮南矿业(集团)有限责任公司、安徽大学、安徽理工大学和中国水利水电科学研究院的“高校-企业-研究院”式的科研合作圈。各科研合作圈内部连线较紧密,存在较强的合作关系;主要关注于采煤沉陷引起的耕地损毁程度、复垦技术与治理对策、复垦管理模式、沉陷区水环境和土地利用动态监测、土壤特性空间分布、水质特征及湿地保护、底泥重金属分布特征、煤矸石复垦条件、地表拉张裂隙形成与演化特征、公共服务平台建设及综合治理思路等方面的研究。

表 1 发文量前 20 位的一级科研机构

Table 1 Top 20 first-level scientific research institutions on number of papers published

序号	机构	发文数占比/%	序号	机 构	发文数占比/%
1	中国矿业大学	9.34	11	江苏省资源环境信息工程重点实验室	1.09
2	中国矿业大学(北京)	6.42	12	中国地质大学	0.88
3	安徽理工大学	5.11	13	国土资源部土地整治重点实验室	0.66
4	河南理工大学	2.04	14	陕西省地质环境监测总站	0.58
5	内蒙古农业大学	1.90	15	太原理工大学	0.58
6	山西农业大学	1.90	16	煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心	0.58
7	北京科技大学	1.82	17	中煤科工集团唐山研究院有限公司	0.51
8	西安科技大学	1.68	18	煤炭科学研究总院唐山研究院	0.51
9	煤矿生态环境保护国家工程实验室	1.24	19	国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室	0.44
10	安徽大学	1.17	20	河北理工大学	0.36

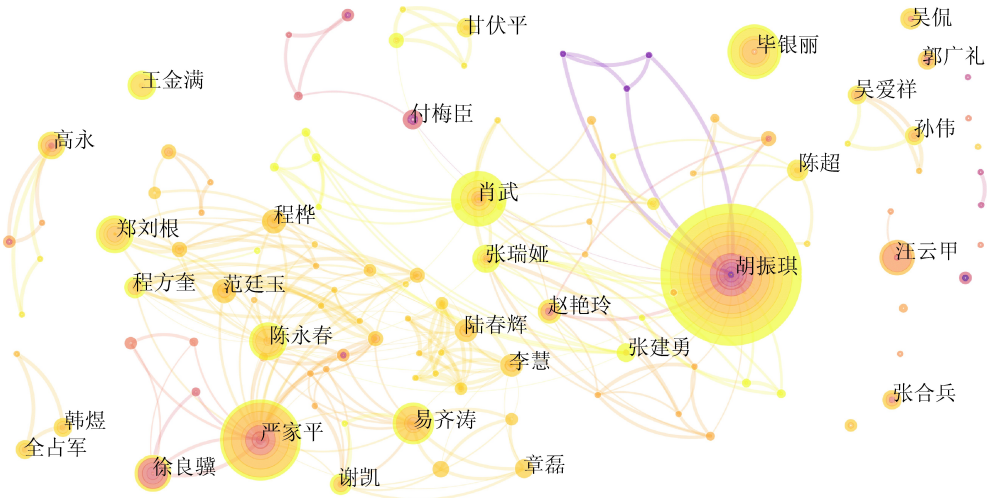


图 3 作者合作网络图谱

Fig.3 Network map of author cooperation

2.2.3 发文期刊

国内刊载采煤沉陷相关研究的文献前 20 位的期刊及其影响力如图 4 所示。前 20 位期刊刊载文献数占总文献数的 49.96%,其中 Ei 是 128 篇,占前 20 位期刊刊载文章的 18.69%。前 20 位期刊刊载的采煤沉陷文献均不低于 18 篇,均不低于总文献数的 1.31%,期刊综合影响因子不低于 0.26。刊载该领域文献不低于 30 篇的期刊为《金属矿山》《中国矿



高水平,而复垦以 6.59 的突现度仅次于塌陷区,但其中心度是塌陷区的 3.50 倍;综合治理出现频次和突现度均低于土地复垦,但其中心度比土地复垦高了 0.20;表明塌陷区综合治理和复垦一经提出就得到了国内外学者的重视,侧重于采煤塌陷现状、演变规律及综合治理、复垦技术及复土造田土地利用变化等研究。随着研究领域的深入拓展,出现了突现词的增加和突现度的均衡化特征,采煤沉陷相关研

究衍生出不同的研究分支,有利于实现学科交叉而提升自身研究范畴,处于加速发展阶段。如 2003—2008 年期间,塌陷、防治措施和煤矸石以较高的突现度为该时间段内整个知识图谱网络的中心节点,采煤沉陷区、数值模拟和生态修复等关键词以中心度高于 0.1 成为重要节点;关注于沉陷数值模拟、损毁程度预测、复垦模式与成效、水土环境及生态修复措施等研究。

阶段	突现词及突现度		关键词的频次与中心度
1992—2008 年 起步与平稳 发展阶段	土地复垦	5.00	复垦(43, 0.49)、煤矿(31, 0.33)、稳定性(10, 0.29)、采煤塌陷地(42, 0.28) 综合治理(19, 0.26)、采煤沉陷区(84, 0.22)、采煤塌陷(50, 0.22)、土地利用(13, 0.18)、开采沉陷(77, 0.16)、地面塌陷(28, 0.16)、地表塌陷(16, 0.16)、地表沉陷(23, 0.15)、塌陷区(71, 0.14)、采空区(34, 0.14)、预测(4, 0.12)、矿区(22, 0.11)、数值模拟(20, 0.11)、地质灾害(18, 0.11)、生态恢复(10, 0.11)、塌陷(23, 0.10)、沉陷(17, 0.10)、土地复垦(85, 0.06)、采煤塌陷区(66, 0.06)
	综合治理	4.05	
	塌陷	5.55	
	塌陷区	6.94	
	复垦	6.59	
	防治措施	3.76	
	煤矸石	3.45	
2009—2013 年 平稳运行发展 深化阶段	塌陷地	6.18	采煤沉陷地(17, 0.23)、土壤(19, 0.22)、概率积分法(14, 0.13)、GIS(16, 0.12)、综合评价法(2, 0.12)、层次分析法(4, 0.12)、防治措施(4, 0.1)、塌陷水域(7, 0.07)、煤炭开采(12, 0.06)、边采边复(6, 0.06)、复垦土壤(15, 0.03)、地裂缝(13, 0.03)、地表沉降(6, 0.02)、重金属(9, 0.01)、群落结构(6, 0.01)
	采煤塌陷区	4.88	
2014—2018 年 酝酿和深化前期研 究内容的稳定发展 阶段	无		充填复垦(8, 0.15)、土壤水分(4, 0.12)、成因分析(2, 0.06)、积水承载力(2, 0.05)、治理模式(2, 0.05)、采煤沉陷积水区(4, 0.04)、塌陷湖泊(5, 0.03)、泥沙(2, 0.03)、无人机(4, 0.02)、稳定性分析(3, 0.02)、有机碳(2, 0.02)、充填开采(2, 0.02)、复垦治理(2, 0.01)

图 6 各阶段关键词频次、中心度及突现词统计

Fig.6 Statistics of keyword frequency, centrality and burst keywords in different stages

2)2009—2013 年,塌陷地和采煤塌陷区分别以 6.18 和 4.88 较高的突现度成为该阶段的研究前沿,该阶段中心度高于 0.1 的关键词有 6 个,较 1992—2008 年阶段少了 15 个,故而该阶段采煤沉陷相关研究处于平稳运行发展深化阶段。采煤沉陷地和土壤以高于 0.2 的中心度成为该阶段知识网络中重要节点,概率积分法、GIS、层次分析法、防治措施、塌陷水域和边采边复技术以较高的出现频次或较高的中心度的特点成为研究节点;该阶段主要围绕采煤沉陷开展沉陷过程中或复垦前后的土地生态质量评价及动态研究、地表环境动态变化、沉陷积水区水土化学特征及影响因素、湿地构建与规划技术等内容的研究,重视解决采煤沉陷或复垦与生态演变规律的研究。该阶段研究更集中并更偏向于综合治理、治理质量的提升和新复垦技术的研究。

3)2014—2018 年,采煤沉陷区相关研究中未突现出新的研究前沿,表明该领域经历了 1992—2008

年和 2009—2013 年 2 个阶段的发展、推广和活跃期后,采煤沉陷相关研究进入酝酿和深化前期研究内容的稳定发展阶段;充填复垦和土壤水分以该阶段前 2 位的出现频次和中心度成为知识网络中重要节点,该阶段主要重视采煤沉陷区充填复垦技术材料的优选、泥沙充填复垦技术机理与模式<sup>[33]</sup>、沉陷区土壤水分特征及其对植被生长的影响等研究的深化,逐渐转向采煤沉陷区湿地研究,这与国家“十二五”规划科技支撑有关,属于成果发表阶段。无人机<sup>[34-35]</sup>以较高的出现频次成为采煤沉陷相关研究的重要搭载平台,治理模式和积水承载力在该阶段有较高的中心度,在对采煤沉陷区中地质环境灾害、沉陷损毁情况、开采计划、生态环境及社会需求等情况调查的基础上,利用沉陷地地貌重建、废弃建筑物拆迁、矸石清理填埋、土地复垦、边坡修整、植草绿化等工程技术,按照“宜农则农、宜渔则渔、宜建则建”的因地制宜的综合治理原则,发展农林复垦模式、水



产养殖和水库蓄水模式、城镇建设模式、生态建设模式和新能源产业模式等综合治理模式的研究与实践。随着国家对采煤沉陷区综合治理政策的实施和十九大报告对生态文明建设和绿色发展的高度重视,采煤沉陷区综合治理与生态修复的研究成为今后的研究重点与前沿。

### 3 结论与展望

基于 Excel 和 Citespace 对国内采煤沉陷相关研究的文献进行计量分析,展示了 27 年间该领域研究的时空分布、研究热点、研究前沿及发展趋势。结论如下:

1) 根据发文数量,国内采煤沉陷区领域经历了平稳起步探索—加速发展—稳定发展 3 个阶段,表明该领域逐渐受到国内学者的重视,国家“十三五”规划对全面推进采煤沉陷区改造转型的重视,促使采煤沉陷相关研究成为研究热点。

2) 分析主要科研力量与平台,明确了以高校、重点实验室和科研院为主的研究机构力量,确定了以中国矿业大学、中国矿业大学(北京)和安徽理工大学以高校为主导的研究机构力量;形成了 1 个比较明显“高校—企业—研究院”式合作紧密的科研合作圈;筛选了该领域国内影响力较大的中文期刊用于研究成果的展示与传播。

3) 通过关键词共现识别出“采煤沉陷区、采煤塌陷和复垦”等研究热点,形成了采煤塌陷地、采煤沉陷和综合治理等 14 个聚类,该领域研究内容广泛主题丰富。

4) 根据关键词共现分析结果的突现检测将采煤沉陷领域研究前沿分成 3 阶段,即 1992—2008 年为起步与平稳发展阶段,2009—2013 年为平稳运行发展深化阶段和 2014—2018 年为酝酿和深化前期研究内容的稳定发展阶段;并对研究前沿及重点内容进行总结分析。

5) 未来的研究中需关注:①在政策上,加强采煤沉陷区综合治理政策的制定与精准落实;②在研究数据上,开展全国采煤沉陷区基本情况的调查研究;③在理论研究上,推进采煤沉陷区综合治理与生态修复关键技术体系的研究及仿自然地貌重塑与自然修复等理念的应用;④在行业标准上,编制采煤沉陷区综合治理与生态修复的规划、相关机制和标准。

### 参考文献(References):

[1] HU Zhenqi, XIAO Wu. Optimization of concurrent mining and reclamation plans for single coal seam: a case study in northern An-

hui, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 68(5): 1247-1254.

[2] 胡振琪, 多玲花, 王晓彤. 采煤沉陷地夹层式充填复垦原理与方法[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 198-206.

HU Zhenqi, DUO Linghua, WANG Xiaotong. Principle and method of reclaiming subsidence land with inter-layers of filling materials [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 198-206.

[3] 胡振琪, 肖武, 王培俊, 等. 试论井工煤矿边开采边复垦技术[J]. 煤炭学报, 2013, 38(2): 301-307.

HU Zhenqi, XIAO Wu, WANG Peijun, et al. Concurrent mining and reclamation for underground coal mining [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(2): 301-307.

[4] 张新平, 张芳芳, 徐勇, 等. 基于 CiteSpace 的国内外生态足迹研究知识图谱比较[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(11): 1347-1353, 1339.

ZHANG Xinping, ZHANG Fangfang, XU Yong, et al. Comparison of mapping knowledge domain of ecological footprint researches between Chinese and foreign literatures based on CiteSpace [J]. Resource Development & Market, 2017, 33(11): 1347-1353, 1339.

[5] CHEN Chaomei. 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.

[6] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.

CHEN Yue, CHEN Chaomei, LIU Zeyuan, et al. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains [J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(2): 242-253.

[7] 谢卫红, 董策, 李忠顺. 基于 Citespace 的商业生态系统研究可视化分析[J]. 现代情报, 2017, 37(2): 126-133, 162.

XIE Weihong, DONG Ce, LI Zhongshun. Visualization analysis of business ecosystem research based on Citespace [J]. Journal of Modern Information, 2017, 37(2): 126-133, 162.

[8] 方创琳, 毛汉英. 兖滕两淮地区采煤塌陷地的动态演变规律与综合整治[J]. 地理学报, 1998, 53(1): 25-32.

FANG Chuanglin, MAO Hanying. The negative effects, evolutionary patterns and comprehensive management of coal-mining areas in Yanteng-Lianghuai region [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(1): 25-32.

[9] 马超, 何万龙, 康建荣. 采煤塌陷区塌陷面积的预测方法与分析[J]. 矿山测量, 1999(1): 13-18.

MA Chao, HE Wanlong, KANG Jianrong. Prediction method and analysis of subsidence area in coal mining subsidence area [J]. Mine Surveying, 1999(1): 13-18.

[10] 顾和和, 胡振琪, 刘德辉, 等. 高潜水位地区开采沉陷对耕地的破坏机理研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(5): 76-79.

GU Hehe, HU Zhenqi, LIU Dehui, et al. Mechanism of farmland damage due to mining subsidence in the region with high level of subsurface water [J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(5): 76-79.

[11] 李树志. 煤矿塌陷区土地复垦技术与发展趋势[J]. 煤矿环境保护, 1993, 7(4): 6-9.

LI Shuzhi. Land reclamation technology and development trend in

- collapsed area of coal mine [J]. *Energy Environmental Protection*, 1993, 7(4): 6-9.
- [12] 胡振琪, 刘海滨, 刘 祁, 等. 试论开采沉陷地土地复垦规划设计[J]. *矿山测量*, 1994(2): 32-34.
- HU Zhenqi, LIU Haibin, LIU Qi, *et al.* Planning and design of land reclamation in mining subsidence land [J]. *Mine Surveying*, 1994(2): 32-34.
- [13] 赵玉霞, 杨居荣. 采煤塌陷地复垦的环境经济分析: 以开滦煤矿为例[J]. *环境科学学报*, 2000, 20(2): 87-92.
- ZHAO Yuxia, YANG Jurong. Environmental economic analysis in reclamation of subsided and subsiding land aroused by coal mine: a case study from Kailuan Coal Mine in Tangshan City [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(2): 87-92.
- [14] 孙学阳, 夏玉成, 白红梅. 褶皱构造对采煤沉陷控制作用的数值模拟[J]. *煤炭学报*, 2007, 32(5): 490-493.
- SUN Xueyang, XIA Yucheng, BAI Hongmei. Numerical simulation of control of fold structures on mining subsidence [J]. *Journal of China Coal Society*, 2007, 32(5): 490-493.
- [15] 彭苏萍, 孙连英, 马春丽. 地下开采岩体变形综合分析方法及其应用[J]. *中国矿业大学学报*, 2002, 31(1): 83-86.
- PENG Suping, SUN Lianying, MA Chunli. Synthetical analysis method of rock movement in underground mining and case study [J]. *Journal of China University of Mining & technology*, 2002, 31(1): 83-86.
- [16] 蔡美峰, 孔留安, 李长洪, 等. 玲珑金矿主运巷塌陷治理区稳定性动态综合监测与评价[J]. *岩石力学与工程学报*, 2007, 26(5): 886-894.
- CAI Meifeng, KONG Luan, LI Changhong, *et al.* Dynamic comprehensive monitoring and assessment of stability of collapsed area after supporting in main transport roadway in linglong gold mine [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2007, 26(5): 886-894.
- [17] 赵艳玲, 胡振琪. 未稳沉采煤沉陷地超前复垦时机的计算模型[J]. *煤炭学报*, 2008, 33(2): 157-161.
- ZHAO Yanling, HU Zhenqi. Proper time model for pre-reclamation of unstable subsidence [J]. *Journal of China Coal Society*, 2008, 33(2): 157-161.
- [18] 李新举, 胡振琪, 李 晶, 等. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 276-280.
- LI Xinju, HU Zhenqi, LI Jing, *et al.* Research progress of reclaimed soil quality in mining subsidence area [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(6): 276-280.
- [19] 卞正富. 矿区开采沉陷农用地质量空间变化研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2004, 33(2): 89-94.
- BIAN Zhengfu. Change of agricultural land quality due to mining subsidence [J]. *Journal of China University of Mining & technology*, 2004, 33(2): 89-94.
- [20] 徐良骥, 严家平, 高永梅. 淮南矿区塌陷水域环境效应[J]. *煤炭学报*, 2008, 33(4): 419-422.
- XU Liangji, YAN Jiaping, GAO Yongmei. Environmental impact of coal mining subsided water area in Huainan mining area [J]. *Journal of China Coal Society*, 2008, 33(4): 419-422.
- [21] 李 晶, 胡振琪, 李立平. 中国典型市域煤粮复合区耕地损毁及其影响[J]. *辽宁工程技术大学学报: 自然科学版*, 2008, 27(1): 148-151.
- LI Jing, HU Zhenqi, LI Liping. Farmland damage and its impacts in overlapped areas of cropland and coal resources in one typical city of China [J]. *Journal of Liaoning Technical University: Natural Science*, 2008, 27(1): 148-151.
- [22] 赵国忱, 任凤玉, 杨根贵. 采煤沉陷区综合治理费用的区域经济影响[J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2007, 26(6): 829-831.
- ZHAO Guochen, REN Fengyu, YANG Genggui. Regional economic affecting factors of comprehensive management expenditure in coal mining subsidence area [J]. *Journal of Liaoning Technical University*, 2007, 26(6): 829-831.
- [23] 付 慧, 白中科, 张树礼, 等. 呼伦贝尔草原矿生态受损预测与修复对策[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(5): 90-94.
- FU Hui, BAI Zhongke, ZHANG Shuli, *et al.* Ecological damage prediction and restoration of coal mine in Hulun Buir Grassland [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(5): 90-94.
- [24] 徐嘉兴, 李 钢, 陈国良, 等. 矿区土地生态质量评价及动态变化[J]. *煤炭学报*, 2013, 38(S1): 180-185.
- XU Jiaxing, LI Gang, CHEN Guoliang, *et al.* Dynamic changes and evaluation of land ecological quality in coal mining area [J]. *Journal of China Coal Society*, 2013, 38(S1): 180-185.
- [25] 姜 升, 刘立忠. 动态沉陷区建筑复垦技术实践[J]. *煤炭学报*, 2009, 34(12): 1622-1625.
- JIANG Sheng, LIU Lizhong. Practice of land reclamation technique by constructing buildings in dynamic subsidence area [J]. *Journal of China Coal Society*, 2009, 34(12): 1622-1625.
- [26] 胡振琪, 王培俊, 邵 芳. 引黄河泥沙充填复垦采煤沉陷地技术的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(3): 288-295.
- HU Zhenqi, WANG Peijun, SHAO Fang. Technique for filling reclamation of mining subsidence land with Yellow River sediment [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(3): 288-295.
- [27] 孙鹏飞, 易齐涛, 许光泉. 两淮采煤沉陷积水区水体水化学特征及影响因素[J]. *煤炭学报*, 2014, 39(7): 1345-1353.
- SUN Pengfei, YI Qitao, XU Guangquan. Characteristics of water chemistry and their influencing factors in subsidence waters in the Huainan and Huabei mining areas, Anhui Province [J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39(7): 1345-1353.
- [28] 张子月, 邹友峰, 陈俊杰, 等. 采煤塌陷区土地动态沉降预测模型[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(21): 246-251.
- ZHANG Ziyue, ZOU Youfeng, CHEN Junjie, *et al.* Prediction model of land dynamic settlement in coal mining subsidence area [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(21): 246-251.
- [29] 王双明, 杜华栋, 王生全. 神木北部采煤塌陷区土壤与植被损害过程及机理分析[J]. *煤炭学报*, 2017, 42(1): 17-26.
- WANG Shuangming, DU Huadong, WANG Shengquan. Analysis of damage process and mechanism for plant community and soil properties at northern Shenmu subsidence mining area [J]. *Journal of China Coal Society*, 2017, 42(1): 17-26.



[30] 王晓萌,易齐涛,徐鑫,等. 淮南采煤沉陷区内小型塌陷湖泊轮虫群落结构特征[J]. 湖泊科学,2015,27(4): 657-666.  
WANG Xiaomeng, YI Qitao, XU Xin, *et al.* Rotifer communities in the small lakes around Huainan coal mine subsidence areas [J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(4): 657-666.

[31] 肖武,陈佳乐,笄宏志,等. 基于无人机影像的采煤沉陷区玉米生物量反演与分析[J]. 农业机械学报,2018,49(8): 169-180.  
XIAO Wu, CHEN Jiale, DA Hongzhi, *et al.* Inversion and analysis of maize biomass in coal mining subsidence area based on UAV images [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 169-180.

[32] BAILON-Moreno R, JURADO-Alameda E, JURADO-Banos R, *et al.* Analysis of the field of physical chemistry of surfactants with the Unified Scientometric Model. Fit of relational and activity indicators [J]. Scientometrics, 2005, 63(2): 259-276.

[33] 邵芳,胡振琪,李星宇,等. 黄河泥沙充填复垦覆土材料垂直一维入渗特性研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 226-230.  
SHAO Fang, HU Zhenqi, LI Xingyu, *et al.* One-dimensional vertical infiltration of alternative soil covered on Yellow river sediment layer in filling reclamation [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 226-230.

[34] 肖武,胡振琪,张建勇,等. 无人机遥感在矿区监测与土地复垦中的应用前景[J]. 中国矿业, 2017, 26(6): 71-78.  
XIAO Wu, HU Zhenqi, ZHANG Jianyong, *et al.* The status and prospect of UAV remote sensing in mine monitoring and land reclamation [J]. China Mining Magazine, 2017, 26(6): 71-78.

[35] 肖武,陈佳乐,赵艳玲,等. 利用无人机遥感反演高潜水位矿区沉陷地玉米叶绿素含量[J]. 煤炭学报, 2019, 44(1): 295-306.  
XIAO Wu, CHEN Jiale, ZHAO Yanling, *et al.* Identify maize chlorophyll impacted by coal mining subsidence in high groundwater table area based on UAV remote sensing [J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(1): 295-306.