引用格式：李华洋, 刘全有, 朱东亚, 等. 基于知识图谱的中国氦气研究全景剖析与对策建议. 中国科学院院刊, 2026, 41(4): 816-828, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250327001.
Li H Y, Liu Q Y, Zhu D Y, et al. Panoramic analysis and strategic proposals of helium research in China based on knowledge graph. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2026, 41(4): 816-828, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250327001. (in Chinese)

基于知识图谱的中国氦气研究全景剖析与对策建议

李华洋[1] 刘全有[1*] 朱东亚[2] 吴小奇[2] 张 驰[3] 史泽辉[1]

1 北京大学 地球与空间科学学院能源研究院 北京 100871
2 中国石化石油勘探开发研究院 北京 102206
3 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100191

摘要 氦气是战略性稀有气体，在航空航天、医疗设备和半导体制造等领域具有广泛且不可替代的作用。中国氦气对外依存度大约为85%，氦气勘探开发技术的研究对于保障国家资源安全具有重要意义。文章基于中国知网中2000—2025年发表的氦气相关文献，以及知识图谱和文献计量技术，提出一种“数据驱动—图谱呈现—机理阐释”的三元方法论，对中国氦气勘探开发研究进行全景式剖析，从多维度呈现其发展脉络与研究现状，为该领域带来全新认知视角。通过对数据库的年度发文趋势、发文机构分布及研究热点演变的深入挖掘，从空间和时间2个维度深入剖析了氦气勘探开发领域的知识架构、热点迁移轨迹与技术成熟度演变。研究发现，21世纪以来中国氦气勘探开发研究历经初期萌芽、波动增长和爆发式增长的“三阶段跃迁”，指出政策驱动、关键技术突破、国际供应链变革和市场需求急剧扩张是推动该领域快速崛起的内外因素。机构格局中，高校和石油、地调系统单位各展优势，协同创新，头部机构影响力突出。研究热点聚焦于成藏机制、富集规律、资源评估、盆地研究及技术评价，并随时间推移而动态发展。未来需要加强基础研究，推动技术创新，保障国家氦气资源的安全供应。文章构建了中国氦气勘探开发研究的全景图谱，同时为后续研究及国家战略资源决策提供关键支撑与战略参考。

关键词 氦气，成藏条件，富氦气藏，富集机理，文献计量分析，研究展望

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20250327001
CSTR 32128.14.CASbulletin.20250327001

*通信作者

资助项目：国家科技重大专项（2025ZD1010601），国家自然科学基金（42141021），中国科学院学部前沿交叉研判项目（XK2023DXA004）
修改稿收到日期：2026年2月25日

氦气凭借独特理化性质在工业、医疗、科研等领域应用广泛[1-3]，是国家安全与高端技术发展中不可替代的战略资源。2023年全球氦气年产量和需求量分别为1.70×10^8 m^3和1.79×10^8 m^3[4]，且需求年均递增4%—6%。世界氦气资源呈现高度垄断特征：美国、卡塔尔、阿尔及利亚和俄罗斯4国占全球85%的储量和90%的产能[5]；美国产量占全球56%以上[6]，且掌控市场定价权[7]。2025年美国地质调查局估计中国氦气资源量为11×10^8 m^3[8]；但实际上，2025年1月中国自然资源部公开发布“十四五”期间全国新增探明地质储量为40.7×10^8 $m^3$①，全国总资源量约为78.5×10^8 m^3[4]。2023年中国氦气消费量约26.18×10^6 m^3，而产量仅为3.88×10^6 $m^3$②，对外依存度长期超85%[4,9]。2025年需求量预计突破28.00×10^6 m^3。受技术短板、国外垄断等影响，中国氦气全产业链存在风险，资源安全形势严峻。

中国氦气工业化利用始于1964年威远气田的开发[10]，早期因技术和投入不足进展缓慢，仅在20世纪90年代有零散氦异常发现[11]。近年来随着需求增长，相关机构围绕成藏机制、资源分布及提取技术展开系统研究，取得显著成果[12-14]。从富氦天然气中提氦是最经济的方式[15,16]，但全球富氦气藏稀少，因此明确其形成机理从而指导勘探开发，成为实现中国氦气自主供应和商业化利用的重要前提[17]。

传统氦气综述依赖作者主观经验和知识储备，易遗漏重要成果或过度强调作者熟悉的领域，且难以量化分析研究趋势与不同研究间的关联。基于知识图谱的相关研究尤为匮乏，且多数仅从数据层面分析了研究热点等，未能深入探讨文献数量变化和研究热点转移的深层原因[18-20]。

为此，本文以中国知网中2000—2025年发表的228篇相关中文文献为数据基础，采用文献计量与知识图谱结合的方法，提出一种“数据驱动—图谱呈现—机理阐释”的三元方法论，通过数据挖掘、定量分析、定性评价、时间序列分析和聚类统计分析等多维度分析手段量化展示中国氦气勘探开发领域的研究现状与演变趋势。本文旨在为中国氦气产业发展提供前瞻指导，助力推动氦气资源向自主可持续供应迈进。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究基于中国知网对2000年1月1日—2025年2月13日发表的以“氦气”为主题的中文期刊论文进行系统性采集，初步获取文献2 742篇。为提升研究样本的可靠性，剔除了包括编者按语、广告、研究主题偏离等不符合要求的条目。经严格筛选最终形成包含228篇期刊论文的样本集，完整覆盖国内氦气勘探开发研究的核心学术成果。

1.2 研究方法

基于文献计量和科学知识图谱技术，创新性提出一种“数据驱动—图谱呈现—机理阐释”的三元方法论，是一种将定量数据分析、可视化展示和机制解释有机结合的综合性研究方法，其核心是通过数据和图谱构建来揭示复杂知识系统的内在规律。

（1）*数据驱动*。利用文献计量学技术，通过对大量文献数据（如论文数量和引用情况等）的系统采集、清洗和统计分析，构建一个全面、可靠的数据基础。该阶段强调以数据为依据，客观描述研究现状和发展趋势，从宏观上反映出所研究领域的整体特征与演变规律。

（2）*图谱呈现*。将复杂的数据关系转化为直观的可视化图谱。通过节点的颜色、大小及节点间的连线

① 熊自力. 自然资源部1月份例行新闻发布会. (2025-01-14)[2025-04-24]. https://www.mnr.gov.cn/dt/zb/2025/lxxwfbh_1/jiabin/.

② 过去十年中国对进口氦气依赖度从95%降至85%. (2024-12-17)[2025-05-05]. http://www.membranes.com.cn/xingyedongtai/zhengcefagui/2024-12-17/48791.html.

等多种视觉元素，将文献间的引文关系和关键词共现等多维度信息以图像形式呈现，使原本隐晦的数据关联变得清晰、易于理解。这既提升了信息的传达效率，也有利于发现潜在的关联模式和研究热点。

（3）机理阐释。在上述内容基础上，进一步深入剖析内部的动态演变机制和关键驱动因素。通过解读图谱中的聚类、中心节点、演化趋势等特征，揭示出所研究内容发展的内在逻辑和外部影响因素，如政策驱动、技术突破、国际市场变化等，从而为后续研究提供理论依据和决策支持。

总的来说，三元方法论整合了定量数据分析的客观性、知识图谱可视化的直观性和机制阐释的深度解析，形成了一套系统而高效的复杂知识系统解构方法。该方法不仅能够全面展示某一领域的研究现状和发展脉络，而且为深入探究关键问题、指导未来研究提供了科学的理论框架和实践路径。

2 研究结果与分析

2.1 年度发文趋势

通过统计与分析特定时段内的发文量，能够客观呈现该领域的活跃周期。根据中国知网收录的中国氦气勘探开发领域中文文献的年度发文量，将国内氦气勘探开发研究划分为3个阶段（图1）。

（1）初期萌芽阶段（2000—2011年）。该阶段年均论文量仅1—3篇，2002年甚至为0，这反映出国内对氦气关注度较低，发展缓慢。由于氦气主要的工业化来源是从天然气中提取，全球氦气资源供应链与其地理分布直接相关。过去，受技术与关注度限制，中国氦气储量长期被低估；全球氦气产业链亦长期被美国、卡塔尔等国家主导垄断[9]，中国氦气产业发展受制于人。2020年之前，中国纯氦年产能长期不足30×10^4 m^3，而年消费量超过20.00×10^6 m^3[②]，导致氦气长期严重依赖进口，科研投入与技术储备薄弱，相关研究发文量很低。

（2）波动增长阶段（2012—2021年）。2012年发文量开始出现明显增长（6篇），2014年达到小高峰（8篇）。笔者推测这与21世纪10年代全球氦气供应危机相关。美国曾长期垄断全球氦气产业链（含氦气资源、生产和销售），2007年将其定为战略储备资源限制产量，2010年开始收缩出口。为摆脱对美国的依赖

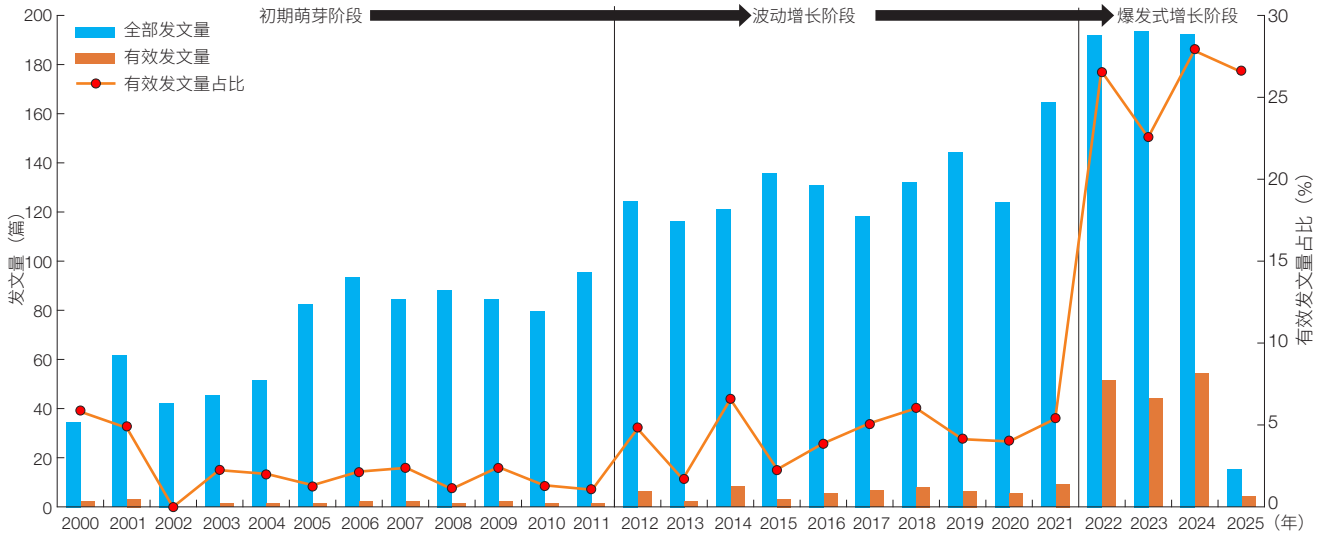


图1　2000—2025年中国氦气勘探开发领域中文论文年度发文趋势

Figure 1　Annual publication trend of Chinese-language papers on helium exploration and development in China (2000–2025)

（2023年中国从美国进口391.6 t，已降至占进口总量的10%左右）[③]，中国一方面调整进口结构，从其他国家（主要是卡塔尔，2023年进口3 353.4 t，占进口总量的82%）进口氦气[③]，另一方面推动自主研究。中国地质调查局自2012年起将氦气勘查纳入战略规划，针对渭河盆地等具有资源潜力的目标区实施系统性勘探[9]。但发文量整体仍不稳定（如2015年仅3篇），这反映存在技术瓶颈或政策关注度不足等现象，研究成果产出有限，未形成大规模研究热潮。

（3）爆发式增长阶段（2022年至今）。当前，中国正处于氦气勘探开发领域研究高峰期，相关发文量陡增至年均约50篇（2025年数据因统计不全有偏差），发文数远超此前总和，这表明近年来氦气勘探开发受到了学界越来越多重视，形成了一轮“氦气热”，这与氦气应用价值凸显、技术发展、战略需求等因素密切相关。① 政策大力驱动：国家层面密集出台支持政策。2021年，国家自然科学基金委员会设立了2个氦气相关专项研究项目；2022年3月，科学技术部首次将氦气勘探开发研究纳入国家重点研发计划[④]；2023年1月，山西发布《山西省矿产资源总体规划（2021—2025年）》，其中提到“重点实施山西晋中盆地氦气资源调查评价项目”；2023年1月，国家地质实验测试中心组织完成了我国首轮氦气资源关键测试项目能力验证工作[⑤]；2023年10月，《国务院关于推动内蒙古高质量发展 奋力书写中国式现代化新篇章的意见》中提到“提升氦气等战略性矿产资源保障能力”[⑥]；2024年4月，中国地质调查局于北京组织召开了全国氦气资源国情调查评价研讨会[⑦]。② 关键技术突破。“十四五”期间，中国氦气资源勘探取得突破性进展，提氦技术逐渐成熟，产业化进程加速。2020年7月，我国在宁夏盐池县开设的首家以商业规模生产氦气的大型工厂正式运营（液氦年产量将达20 t）[⑧]。2020年12月，首套基于液化天然气（LNG）闪蒸工艺分离的高纯氦气装置于鄂尔多斯杭锦旗正式投运，该工程不仅实现了年产能超10^6 m^3，更将氦气纯度提升至99.999%。2021年5月，四川远丰森泰能源集团有限公司建成液化天然气闪蒸气（BOG）提氦生产线，年产能达20×10^4 m^3。2021年6月，瑞华能源集团有限公司在甘肃庆阳落成的LNG-BOG提氦装置年产能突破25×10^4 m^3[⑨]。2024年国内新投产7套提氦装置，年产量有望达到3.8×10^6 m^3[⑩]。2025年1月，自然资源部发布“十四五”期间全国新增探明氦气地质储量超40×10^8 m^3，其中泸州、东胜、安岳、涪陵、靖边和苏里格等重点能源基地均实现单区块探明地质储量超2×10^8 m^3级的突破[①]。近年来，陆续发现了22个富氦气田[4]，如鄂尔多斯盆地的东胜气田和庆阳气田（氦气含量为

③ 2023年氦气进口数据大盘点. (2024-02-23)[2025-05-05]. https://www.czjyhg.com/newsinfo/152.html.

④ 中石大牵头国家重点研发计划项目“富氦天然气成藏机制及氦气资源分布预测技术”开题启动. (2022-03-21)[2025-03-02]. https://www.cup.edu.cn/news/sx/613ae2c23f724ca9a9e558bb71605c47.htm.

⑤ 赵文博, 孙玮琳. 实验测试中心组织完成国内首轮氦气资源关键测试项目能力验证工作. (2023-01-17)[2025-03-02]. http://www.nrcga.cgs.gov.cn/zxxw/jqdt/202301/t20230117_723167.html.

⑥ 我国及部分省市氦气行业相关政策：加快发展工业特种气体等产品. (2024-08-29)[2025-03-02]. https://www.sohu.com/a/804642663_730526.

⑦ 苑坤. 全国氦气资源国情调查评价研讨会在京召开. (2024-04-29)[2025-03-02]. https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202404/t20240429_759294.html.

⑧ 朱学森. 摆脱对美依赖又近一步！我国启动首座大型氦气厂. (2020-07-28)[2025-03-02]. https://news.sina.com.cn/c/2020-07-28/doc-iivhvpwx7853816.shtml.

⑨ 杨付, 博杰. 这10%的进步，为什么对中国意义如此重大？. (2024-12-10)[2025-03-02]. https://www.guancha.cn/haoping/2024_12_10_758339.shtml.

⑩ 中国对进口氦气依赖程度从95%下降到85%. (2024-12-17)[2025-03-02]. https://igchina-expo.com/article/item-2790.html.

0.045%—0.487%）[21]、塔里木盆地巴什托普油气田（0.680%—0.730%）[22]和松辽盆地北部（0.100%—0.400%）[23]。上述勘探成果显著压减了氦气进口依存度。这种跨越式发展标志着我国已形成多盆地联动的氦气战略接续区。③ 国际环境变化。当前中国氦气供应链的脆弱性主要体现在战略储备与自主供给能力的双重制约上。中美经贸摩擦加剧氦气供应链风险，美国进一步限制氦气出口。依据2017年12月20日签署的第13817号美国总统行政令，美国内政部于2018年5月18日正式发布关键矿产清单，将氦气等35种矿产资源纳入关键矿产目录。加拿大、澳大利亚和欧盟等国家和地区也跟进将氦气列为关键原材料或关键矿产[24]。中国国内氦气战略储备仅能满足1—2月的基础需求⑨，一旦国外供应中断将对中国相关产业（如医疗和航空航天）产生强烈且持久的冲击。“卡脖子”困局倒逼国内加快氦气自主勘探开发。④ 市场需求急剧扩大。未来，中国氦气年需求量将超3×10^7 m^3，占全球总需求量的11%，是全球第二大氦气消费国（仅低于美国），年需求增长率超12%[9]，但供需矛盾导致对外依存度长期超过95%（2024年降低到85%⑨）。但据中国化工信息中心预计，到2028年中国仍将有约60%的氦气依赖进口⑪，巨大供需缺口推动相关研究升温。

2.2 发文机构分析

截至2025年2月，共有22个省份的96家发文机构发表了氦气勘探开发研究相关论文，涵盖高校、企业、地调局和科研院所等，其中北京（28家）、陕西（12家）、山东（8家）和四川（8家）为发文机构分布数量前3位（含并列）的省份（表1）。

2.2.1 机构分布的区域和地域特征

（1）集中分布区域。华北地区（北京、河北和山西等）机构分布密集。北京作为科研资源高度集中的城市，是我国氦气勘探开发研究的核心区域，这反映出北京在基础研究和科技创新中的主导地位。河北、山西作为中国传统能源产业的重地（油、煤、气资源丰富），许多地调机构和能源企业集中分布于此，氦气作为上述资源的伴生气在这2省具有很大的开发潜力。以山东、江苏和浙江为代表的沿海发达地区作为我国东部能源经济核心区，具有雄厚的工业基础和科技资源。该类地区不仅分布有许多高校，还有许多能源企业的分支机构；其便利的交通和完善的产业配套体系有利于相关研究的产学研用深度融合，加速科技成果的产业化进程。

（2）资源型开发区域。中西部地区（如陕西、甘肃、四川等）地处内陆，具有潜在的氦气资源分布。陕甘宁盆地和四川盆地既是我国天然气生产的重要基地，也是氦气勘探的重要目标区。分布在该区域的研究机构多以地方地质勘探单位，以及中石油、中石化的下属机构为主。此外，东北三省在此方面也有一定布局。

（3）研究机构相对稀少的地区。华南地区（如海南、广西）分布的研究机构相对较少，这类地区资源开发潜力有限。青海、新疆等地作为能源富集区但氦气研究机构较少，研究可能尚处于起步阶段。

2.2.2 研究主体的类型及分工

中国氦气勘探开发研究机构可分为四大类。

（1）地质调查机构。包括：国家级地调机构，如中国地质调查局及其下属机构（包括西安、成都和油气地调中心等）；地方地调机构，如青海省地质调查局、甘肃省地质调查院等。这些机构拥有专业的野外勘查队伍和丰富的地质资料积累，在区域资源调查中发挥重要作用。

⑪ 熊超然. 防止被“卡脖子”，中国正降低对美国的氦气依赖. (2024-10-15)[2025-03-02]. https://www.toutiao.com/article/7425802858995466761/?wid=1740923063102.
中国正悄然摆脱美国氦气“束缚”. (2024-10-18)[2025-03-02]. https://www.igchina-expo.com/article/item-2715.html.

表1　2000—2025年中国氦气勘探开发研究机构统计

Table 1　China's helium exploration and development research institutions from 2000 to 2025

地区	省份	单位/发文量(篇)	机构数(家)	发文量(篇)
华北	北京	中国石油勘探开发研究院/36,中国石油大学(北京)/16,中国石化石油勘探开发研究院/15,中国矿业大学(北京)/14,北京大学/14,中国地质科学院/11,中国科学院大学/8,中国石油化工股份有限公司/7,中国地质科学院地质研究所/5,中国石化集团/5,中国地质调查局油气资源调查中心/4,页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室/4,中石油煤层气有限责任公司/4,中国科学院地质与地球物理研究所/4,中国地质科学院地质力学研究所/3,北京市地震局/3,中国地质大学(北京)/3,中国地质调查局地学文献中心/2,中国石油化工集团有限公司/2,中国科学院理化技术研究所/2,中国地质图书馆/2,北京理工大学/2,中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心/1,北京中科富海低温科技有限公司/1,中国科学院力学研究所/1,中国科学院文献情报中心/1,中国科学院过程工程研究所/1,中海油能源发展股份有限公司/1	28	172
	山西	山西省第三地质工程勘察院/3,山西蓝焰煤层气工程研究有限责任公司/1	2	4
	天津	中国地质调查局天津地质调查中心/2	1	2
	河北	中国石油集团东方地球物理公司/1	1	1
东北	黑龙江	中国石油大庆油田分公司/6	1	6
	吉林	中国石油吉林油田分公司/2,长春科技大学/1	2	3
	辽宁	中国地质调查局沈阳地质调查中心/1	1	1
华东	山东	中国冶金地质总局山东正元地质勘查院/2,中国石油大学(华东)/2,山东科技大学/2,中石化经纬有限公司胜利测井公司/1,临沂市地质调查与研究院士工作站/1,山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队/1,山东省第七地质矿产勘查院/1,齐鲁工业大学/1	8	11
	江苏	中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所/3,中国地质调查局南京地质调查中心/2,中国石化华东油气分公司/1,中国石化江苏油田分公司/1,中国矿业大学/1,河海大学/1,中国石油天然气股份有限公司盐穴储气库技术研究中心/1	7	10
	江西	江西省地质调查勘查院/4,东华理工大学/1	2	5
	安徽	安徽省地质矿产勘查局312地质队/1,安徽省地质调查院/1,中国科学技术大学/1	3	3
	浙江	中国石油浙江油田分公司/1,浙江大学/1	2	2
华中	湖北	中国石化江汉油田分公司/2,华中科技大学/1,中国科学院武汉岩土力学研究所/1	3	4
西南	四川	中国石油西南油气田分公司/18,西南石油大学/2,中国地质调查局成都地质调查中心/2,中国石油川庆钻探工程有限公司/1,中国石油工程建设有限公司西南分公司/1,四川大学/1,四川轻化工大学/1,成都理工大学/1	8	27
	贵州	贵州乌江能投有限公司/1,贵州能源集团有限公司/1	2	2
	云南	云南大学/2	1	2
西北	陕西	中国地质调查局西安地质调查中心/32,西北大学/14,中国石油长庆油田分公司/12,西安石油大学/5,长安大学/5,陕西燃气集团渭河能源开发有限公司/2,陕西中煤新能源有限公司/1,陕西煤田地质勘查研究院有限公司/1,陕西省矿产地质调查中心/1,陕西地矿第二综合物探大队有限公司/1,咸阳师范学院/1,延安大学/1	12	76
	甘肃	中国科学院西北生态环境资源研究院/17,中国石油勘探开发研究院西北分院/3,甘肃省地质调查院/2	3	22
	青海	青海省地质调查局/5,中国石油青海油田分公司/5	2	10
	新疆	新疆维吾尔自治区地震局/2,中国石油塔里木油田分公司/2,中国石油油气和新能源分公司/2,中国石油东方地球物理公司研究院乌鲁木齐分院/1	4	7
华南	广西	桂林理工大学/1,中国地质科学院岩溶地质研究所/1	2	2
	海南	中海石油(中国)有限公司海南分公司/1	1	1

（2）高校。包括：中国石油大学（北京）、中国矿业大学（北京）和北京大学（高校发文量前3名）等，聚焦理论研究、技术研发和人才培养。

（3）能源企业。包括：① 中石油、中石化等大型油气企业及其下属分公司，如中石化石油勘探开发研究院和中石油长庆油田等；② 煤炭企业，如陕西煤田地质勘查研究院有限公司等。氦气是天然气（包括煤层气）中的伴生气，因此氦气研究机构多与油气和煤炭行业关联。企业类机构拥有雄厚的资金实力和先进的勘探开发设备，推动科研成果产业化。

（4）科研院所。主要以中国科学院和中国地质科学院及其下属单位为代表，如中国科学院西北生态环境资源研究院和中国地质科学院地质研究所等。这类单位拥有先进的实验设备和优秀的科研团队，承担着大量国家科研项目，主攻基础科学研究。

2.2.3 存在的问题与挑战

（1）区域发展不均衡。部分经济发达或资源丰富的地区机构分布过于密集，偏远地区机构布局相对不足，可能导致资源勘探开发进度的不均衡。未来，应结合不同区域的资源禀赋和技术优势，推动全国氦气产业的协同高质量发展。

（2）协同合作有待加强。虽然各类机构众多，但不同类型机构之间的协同合作机制不够完善。氦气勘探开发是一个技术密集型领域，4类机构间需进一步加强合作，实现资源共享、优势互补，提高行业的技术水平。

总体而言，中国已经形成了较为广泛的机构布局和多元化的研究力量，但未来仍需强化区域协调、深化跨机构合作。地质调查机构、高校、能源企业和科研院所应整合人才、资金、设备资源形成科研合力，共同持续驱动深入研究，以提升技术水平和产业竞争力。

2.3 研究热点分析

关键词是论文核心内容的高度概括，其共现网络可揭示某领域的知识架构与演进规律。对关键词集群进行多维解析可实现以下2个层面的认知突破。

（1）空间维度上，基于关键词聚类映射可识别当前研究的知识模块及其关联强度。中国氦气勘探开发研究涵盖资源本身、地质背景、相关气体关系及勘探开发技术等（图2）。研究热点多集中在资源潜力评估、成因探究及特定盆地的研究。众多关键词依据共现关系形成了多个不同颜色的聚类群组，表明该领域内存在多个相对聚焦且具有内在关联的主题方向。节点大小的差异清晰地反映出各关键词的出现频次，“氦气”处于网络中心且节点最大。“资源潜力”“鄂尔多斯盆地”和“渭河盆地”等关键词节点也较大，均为高频关键词，属于核心关注点。节点间的连线表明关键词间存在复杂共现关系。图中存在若干明显的聚类，如灰色聚类（氦气-鄂尔多斯盆地-天然气-成藏模式）、蓝色聚类（东坪气田-壳源-幔源-成因来源）、红色聚类（分子动力学模拟-盖层-压力-大灰厂井）和绿色聚类（市场-现状-供应-指标）等。不同关键词聚类的属性存在明显差异，整体可分为5类。① 相关基础属性与来源，包含“氦气”“来源”“成藏模式”“页岩气”和“煤层气”等关键词，反映出对氦气来源的高度关注，探索氦气在不同地质背景中的赋存情况及成藏机制。② 特定盆地，包含“鄂尔多斯盆地”“渭河盆地”和“四川盆地”等我国重要富油气和地热水盆地，盆地复杂的地质构造为氦气的富集提供了潜在场所。同时，该类关键词又与“成藏模式”“地质特征”等共现相连，显示在研究特定案例时，对其地质背景和成藏条件的研究是相辅相成的。③ 天然气与氦气伴生关系及开发考量，其中“天然气”“CO_2气藏”和“地质特征”等关键词较为突出，这表明氦气与油气资源存在密切伴生关系，需综合考虑天然气藏的地质特征及其中氦气的含量、分布等，以实现对氦气资源的有效识别与合理开发。④ 地球深部过程与氦气成因，包括“壳源”“基底花岗岩”“氦源”和

“幔源”等，体现了对氦气来源的追溯。随着对地球深部认知的不断加深，明确氦气在深部地质过程中的生成、运移和富集机制将为寻找富氦区提供关键理论支撑，拓展氦气勘探的视野范围[25-27]。⑤ 勘探开发技术与评价，包括“油气地质调查”“资源评价”“综合利用”“测井解释”和“地球化学”等关键词，涉及技术开发、资源综合利用与可持续发展。技术方面，需开发更多先进的地球物理探测技术、地球化学分析方法，以及多学科联合的模拟实验等研究手段，从源头上揭示氦气成藏的奥秘；同时，还要重视对氦气资源的综合利用与可持续发展。除了传统的低温超导、航空航天等应用领域，探索氦气在量子计算和生物医学等新兴领域的潜在应用场景将有助于拓宽市场，提升氦气的战略价值。管理方面，应建立完善的氦气资源管理体系，确保氦气的合理开发与长期稳定供应，实现资源可持续利用，将是未来行业发展的重要目标。

（2）时间维度上，跨阶段关键词权重变化可追踪热点迁移轨迹与技术成熟度演变，新兴关键词的涌现速率与核心集群的耦合度可预判相关研究的交叉生长点。关键词时间线视图旨在剖析研究热点随时间的演变趋势。如图3所示，节点颜色从蓝色（2000年）渐变至红色（2025年），清晰地展示了研究主题的演变轨迹。早期研究（2000—2011年，蓝色节点），关键词包括“二氧化碳”“He同位素”“断裂带”“深部地质”和“伴生资源”等，聚焦于基础概念和宏观地质背景。中期研究（2012—2021年，绿—黄色节点），关键词包括“CO_2气藏”“松辽盆地”“渭河盆地”“成藏”“成因”“水溶气”“天然气”和“温泉”等，该阶段研究内容更加丰富和深入，说明随着研究的推进开始逐渐深入探究氦气的成藏机制，强化对水溶氦气的关注。近期研究（2022—2025年，橙—红色节点），关键词包括“塔里木盆地”“花岗岩”“成藏模式”“煤层气”“页岩气”“富集”“氦源岩”和“富氦气田”等。关键词“页岩气”和“煤层气”的出现表明学者们开始结合非常规油气开发，探索氦气伴生资源的有效开发路径。总的来看，中国氦气勘探开发研究呈现出逐步深入和多元化的趋势。早期研究聚焦氦气资源初步调查和基本地质特征描述；中期逐渐向氦气的地球化学特征、微观运移机制、成藏模式和富集机理等更深层的方向发展；近期在原有基础上拓展了新技术应用与综合利用研究，这表明研究在广度和深度上都有进一步发展，且对氦气资源的综合利用和产业链发展也给予了更多关注。

3 关于破解氦气资源安全“卡脖子”困局的对策建议

为保障我国氦气资源安全，尽早突破“卡脖子”困局，针对现存问题提出3个方面的建议。

（1）技术层面。中国氦气研究在成藏理论、勘探技术及资源评价方面取得显著进展，但氦气的赋存条件复杂、资源探明率低、技术成本高仍是核心制约。需进一步加大氦气勘探开发关键技术的创新与突破力度以降低成本。深化对氦气成藏机理、富集规律等基础理论研究，为勘探开发实践提供更坚实的理论支撑。未来需聚焦深部资源、非常规伴生氦气及高效提氦技术，构建“理论—技术—应用”一体化创新体系。

（2）产业发展层面。全球氦气市场主要由少数几个国家垄断，中国受限于相对贫氦国情和产业起步晚的客观现实，面临较大市场压力。面对国内氦气需求的持续增长，以及国际形势的迅猛变化，政府应进一步加大对相关产业的支持力度，优化顶层设计和政策导向，加快构建完善氦气自主全产业链，以实现从资源勘探、开采、加工到应用的全产业链协同发展，提高我国氦气产业的自给率和竞争力。研究建立氦气资源战略储备体系，保障国家氦气安全供应。加强国际合作与交流，积极引进国外先进技术和经验，与国际先进水平接轨，并结合国情推进自主创新，提升我国

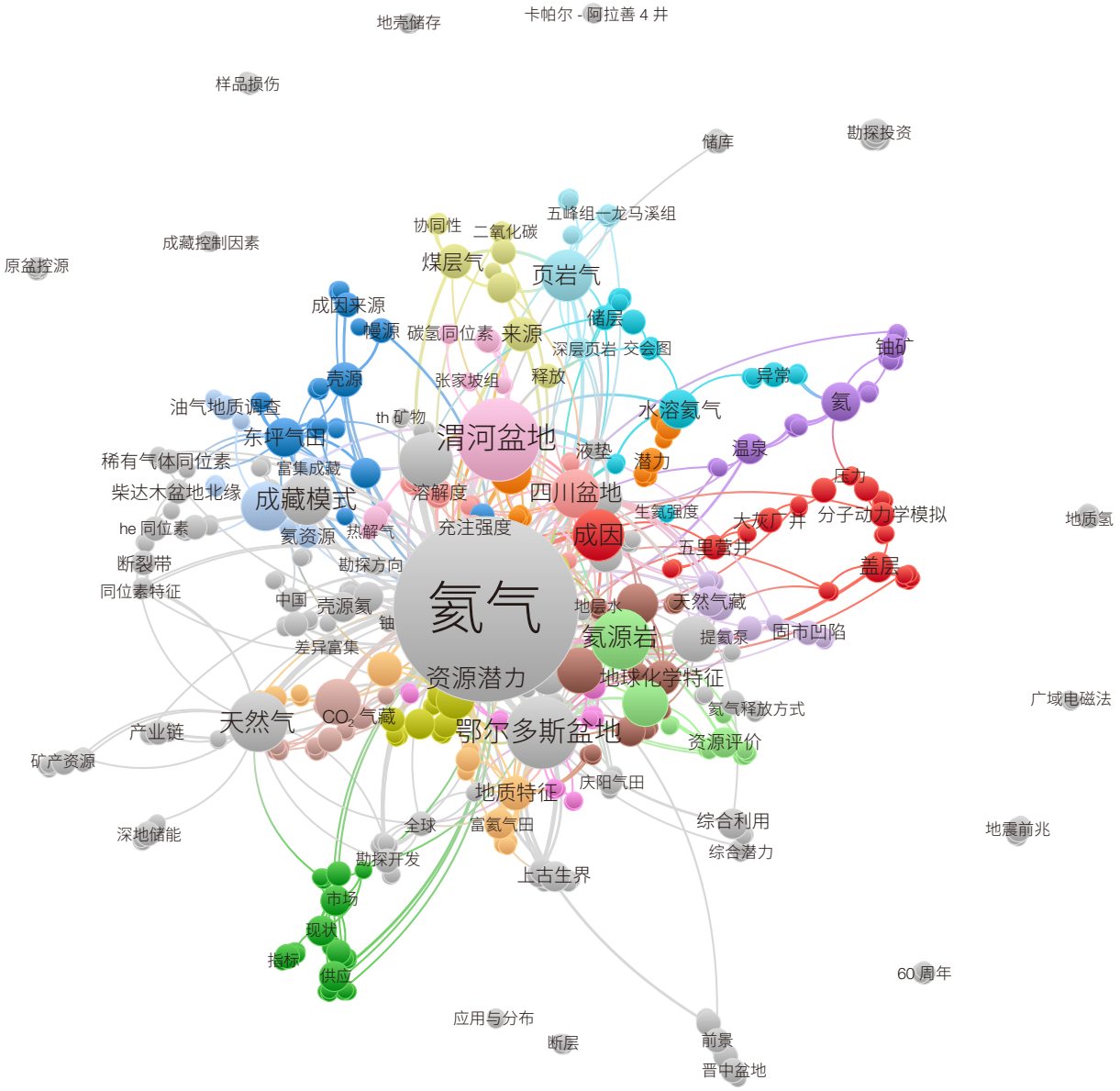


图 2　2000—2025 年中国氦气勘探开发领域中文论文的全部关键词聚类网络视图

Figure 2　Cluster network view of keywords from Chinese papers on helium exploration and development in China (2000–2025)

节点代表研究关键词，节点大小对应关键词出现频次；不同颜色节点代表不同研究主题聚类；连线代表关键词间的共现关联，连线粗细对应共现强度

Nodes represent research keywords, with node size corresponding to keyword occurrence frequency; nodes of different colors represent different research topic clusters; lines represent co-occurrence associations between keywords, with line thickness corresponding to co-occurrence strength

的国际影响力。

（3）人才培养方面。鉴于氦气勘探开发研究的跨学科特性，应注重培养具备多学科知识背景的复合型人才，通过4类机构间的合作，建立完善的产学研用人才培养体系。同时，为青年科技人才提供更多的发展机会和平台，培养一支具有创新能力和实践经验的科研队伍，为我国氦气勘探开发事业的持续健康发展提供充足的人才保障。

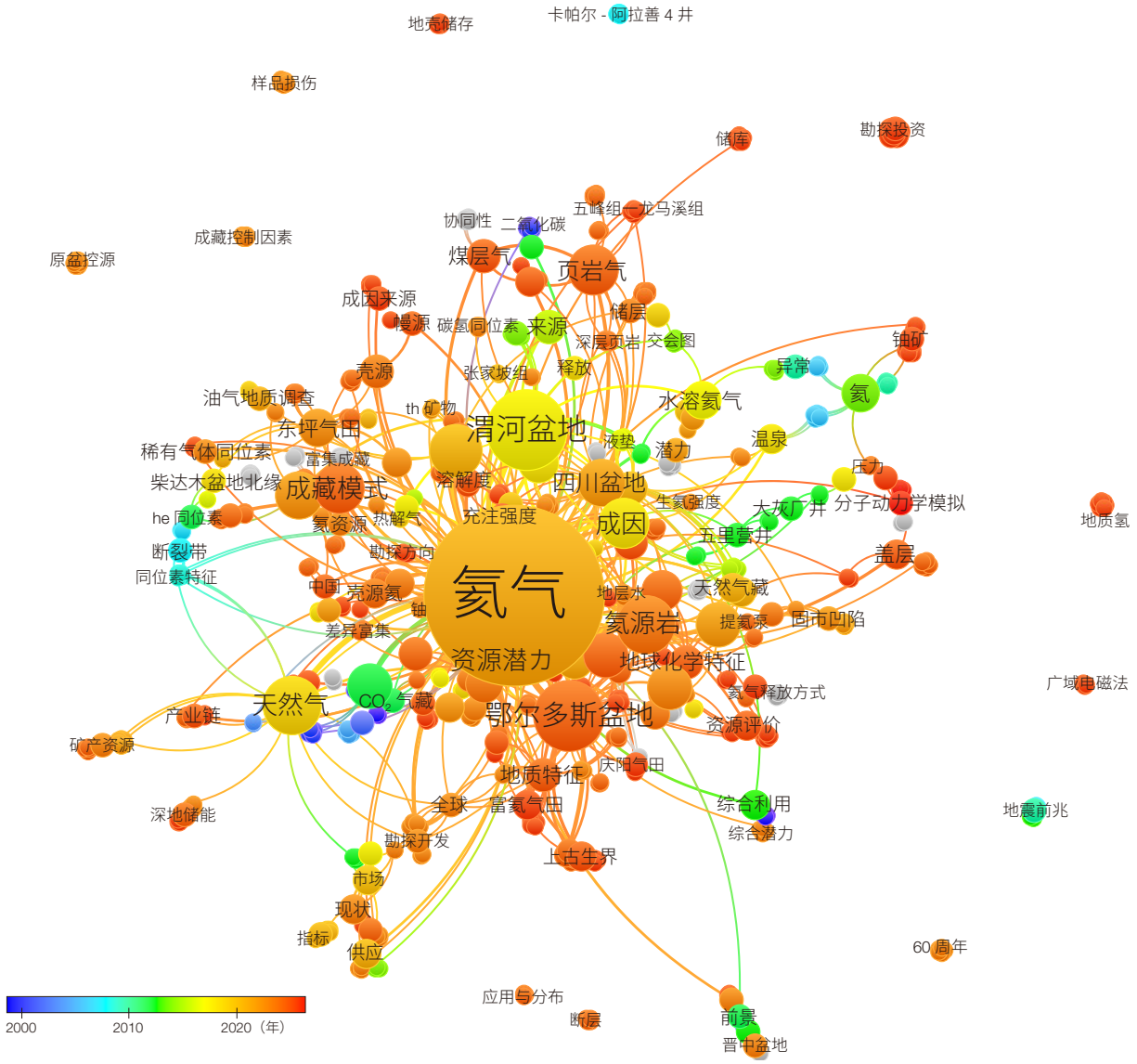


图 3　2000—2025 年中国氦气勘探开发领域中文论文的全部关键词时间线视图

Figure 3　Timeline view of keywords from Chinese papers on helium exploration and development in China (2000–2025)

节点代表研究关键词，节点大小对应关键词出现频次；节点颜色由蓝色（2000 年）向红色（2025 年）渐变，直观反映关键词的首次出现时间，清晰展示研究主题的时间演变轨迹；连线代表关键词间的共现关联，连线粗细对应共现强度

Nodes represent research keywords, with node size corresponding to the occurrence frequency of keywords; node color gradually changes from blue (year 2000) to red (year 2025), which intuitively reflects the first occurrence time of keywords and clearly shows the temporal evolution trajectory of research topics; lines represent co-occurrence associations between keywords, with line thickness corresponding to co-occurrence strength

4 结语

本文完成了基于知识图谱的中国氦气勘探开发研究全景量化剖析，系统梳理了领域内的知识体系与研究脉络，明确了领域研究的时序演化阶段与驱动机制，揭示了研究机构的空间分布特征与主体分工规律，挖掘了研究热点的空间聚类与时间演化轨迹，所提出的三元方法论为战略矿产资源领域的知识图谱研

究提供了可借鉴的理论框架与技术路径。

参考文献

1 秦胜飞, 窦立荣, 陶刚, 等. 氦气富集理论及富氦资源勘探思路. 石油勘探与开发, 2024, 51(5): 1160-1174.
Qin S F, Dou L R, Tao G, et al. Helium enrichment theory and exploration ideas for helium-rich gas reservoirs. Petroleum Exploration and Development, 2024, 51(5): 1160-1174. (in Chinese)

2 Hoseinzade L, Adams T A. Techno-economic and environmental analyses of a novel, sustainable process for production of liquid fuels using helium heat transfer. Applied Energy, 2019, 236: 850-866.

3 Nuttall W J, Clarke R H, Glowacki B A. Stop squandering helium. Nature, 2012, 485: 573-575.

4 刘成林, 洪思婕, 王馨佩, 等. 中国氦气勘探开发进展与展望. 石油与天然气地质, 2025, 46(3): 777-789.
Liu C L, Hong S J, Wang X P, et al. Progress and prospects of helium exploration and production in China. Oil & Gas Geology, 2025, 46(3): 777-789. (in Chinese)

5 Li W Q, Liu H C, Holland G, et al. Accumulation mechanism of crust-mantle mixing helium-rich reservoir: A case study of the Subei Basin (Eastern China). International Geology Review, 2025, 67(8): 1132-1145.

6 He J L, Li S J, Zhao A K, et al. The relationship between helium-rich gas and regional shale in the Sichuan Basin, Southwest China. Frontiers in Earth Science, 2024, 12: 1491017.

7 陈耿荣, 李靖, 孙东, 等. 四川盆地安岳气田贫氦原因探究. 地学前缘, 2025, 32(5): 278-289.
Chen G R, Li J, Sun D, et al. Cause of helium-poor in Anyue gas field, Sichuan Basin. Earth Science Frontiers, 2025, 32 (5): 278-289. (in Chinese)

8 Geological Survey U. S.. Mineral commodity summaries 2025, mcs2025. Reston: U.S. Geological Survey, 2025.

9 许光, 李玉宏, 王宗起, 等. 我国氦气资源调查评价进展. 地质学报, 2023, 97(5): 1711-1716.
Xu G, Li Y H, Wang Z Q, et al. Progress of investigation and evaluation of helium resources in China. Acta Geologica Sinica, 2023, 97(5): 1711-1716. (in Chinese)

10 戴金星. 威远气田成藏期及气源. 石油实验地质, 2003, 25 (5): 473-480.
Dai J X. Pool-forming periods and gas sources of Weiyuan gasfield. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(5): 473-480. (in Chinese)

11 徐永昌, 沈平, 陶明信, 等. 幔源氦的工业储聚和郯庐大断裂带. 科学通报, 1990, 35(12): 932-935.
Xu Y C, Shen P, Tao M X, et al. Industrial accumulation of mantle-derived helium and the Tanlu Fault Zone. Chinese Science Bulletin, 1990, 35(12): 932-935. (in Chinese)

12 彭威龙, 刘全有, 张英, 等. 中国首个特大致密砂岩型(烃类)富氦气田——鄂尔多斯盆地东胜气田特征. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(6): 1078-1085.
Peng W L, Liu Q Y, Zhang Y, et al. The first extra-large helium-rich gas field identified in a tight sandstone of the Dongsheng Gas Field, Ordos Basin, China. Science China Earth Sciences, 2022, 65(5): 874-881.

13 Lv J H, Liu Q Y, Li P P, et al. Distribution and enrichment mechanism of helium in the Hetianhe gas field, Tarim basin, northwest China. Marine and Petroleum Geology, 2025, 173: 107285.

14 Wei Y B, Liu Q Y, Zhu D Y, et al. Helium and natural hydrogen in the Bohai Bay Basin, China: Occurrence, resources, and exploration prospects. Applied Energy, 2025, 383: 125398.

15 王晓锋, 赵栋, 张东东, 等. 有效氦源岩类型及氦气释放机理. 天然气地球科学, 2025, 36(3): 381-389.
Wang X F, Zhao D, Zhang D D, et al. Characteristics of effective helium source rocks and releasing mechanism of helium. Natural Gas Geoscience, 2025, 36(3): 381-389. (in Chinese)

16 Wu X Q, Liu Q Y, Ni C H, et al. Abundance and origin of helium in the Lower Paleozoic gas: A case study from the Daniudi field of the Ordos Basin, central China. Journal of Asian Earth Sciences, 2025, 277: 106405.

17 Danabalan D, Gluyas J G, MacPherson C G, et al. The principles of helium exploration. Petroleum Geoscience, 2022, 28(2): petgeo2021-petgeo2029.

18 张哲, 黄骞, 王春燕, 等. 中国氦气全产业链发展现状与展

望. 油气与新能源, 2024, 36(2): 1-9.
Zhang Z, Huang Q, Wang C Y, et al. Status quo and prospects of the whole helium industry chain in China. Petroleum and New Energy, 2024, 36(2): 1-9. (in Chinese)

19 张超, 郑佩君, 费鹏飞, 等. 基于Incopat专利信息的膜法天然气提氦技术发展态势分析. 膜科学与技术, 2024, 44(3): 163-173.
Zhang C, Zheng P J, Fei P F, et al. Analysis of the development trend of helium recovery from natural gas technology based on Incopat patent information. Membrane Science and Technology, 2024, 44(3): 163-173. (in Chinese)

20 李扬, 彭皓, 赵婉雨, 等. 全球深地储能技术研究态势分析. 高科技与产业化, 2024, 30(12): 100-103.
Li Y, Peng H, Zhao W Y, et al. Analysis of global deep underground energy storage research situation. High-Technology & Industrialization, 2024, 30(12): 100-103. (in Chinese)

21 王杰, 贾会冲, 陶成, 等. 鄂尔多斯盆地杭锦旗地区东胜气田氦气成因来源及富集规律. 天然气地球科学, 2023, 34(4): 566-575.
Wang J, Jia H C, Tao C, et al. Source and enrichment regularity of helium in Dongsheng Gas Field of Hangjinqi area, Ordos Basin. Natural Gas Geoscience, 2023, 34(4): 566-575. (in Chinese)

22 彭威龙, 林会喜, 刘全有, 等. 塔里木盆地氦气地球化学特征及有利勘探区. 天然气地球科学, 2023, 34(4): 576-586.
Peng W L, Lin H X, Liu Q Y, et al. Geochemical characteristics of helium and favorable exploration areas in the Tarim Basin, China. Natural Gas Geoscience, 2023, 34(4): 576-586. (in Chinese)

23 杨春, 陶士振, 侯连华, 等. 松辽盆地火山岩储层天然气藏He同位素组成累积效应. 天然气地球科学, 2014, 25(1): 109-115.
Yang C, Tao S Z, Hou L H, et al. Accumulative effect of helium isotope in gas volcanic reservoirs in Songliao Basin. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(1): 109-115. (in Chinese)

24 李玉宏, 周俊林, 张宇轩, 等. 休戚相关 同气相求——战略性稀有气体资源氦气. 自然资源科普与文化, 2023, (3): 4-13.
Li Y H, Zhou J L, Zhang Y X, et al. Interdependent and seeking coexistence—The strategic rare gas resource helium. Popular Science and Culture of Natural Resources, 2023, (3): 4-13. (in Chinese)

25 王晓锋, 刘全有, 刘文汇, 等. 中国东部含油气盆地幔源氦气资源富集成藏机理. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(12): 2441-2453.
Wang X F, Liu Q Y, Liu W H, et al. Accumulation mechanism of mantle-derived helium resources in petroliferous basins, eastern China. Science China Earth Sciences, 2022, 65(12): 2322-2334.

26 Liu Q Y, Li P P, Zhu D Y, et al. Helium resource in the petroliferous basins in China and its development prospects. Cell Reports Physical Science, 2024, 5(6): 102031.

27 Wang X F, Liu Q Y, Liu W H, et al. Helium accumulation in natural gas systems in Chinese sedimentary basins. Marine and Petroleum Geology, 2023, 150: 106155.

Panoramic analysis and strategic proposals of helium research in China based on knowledge graph

LI Huayang[1] LIU Quanyou[1*] ZHU Dongya[2] WU Xiaoqi[2] ZHANG Chi[3] SHI Zehui[1]

（1 Institute of Energy, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2 Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 102206, China;

3 Institute of Geology and Geophysics, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100191, China）

Abstract Helium is a critical rare gas essential for aerospace, medical devices, and semiconductor production. With about 85% of its helium coming from imports, China's advancement of exploration and development technologies is vital for national resource security. This study analyzes helium-related publications from CNKI (2000–2025) using advanced data visualization and statistical methods. It introduces a three-pronged approach – data-driven analysis, visual representation, and mechanistic explanation – to offer the first comprehensive examination of China's helium exploration and development research, revealing its evolution and current state from multiple perspectives and providing fresh insights. By examining publication trends, institutional contributions, and evolving research priorities, the study maps the knowledge structure, tracks shifts in focus, and evaluates technological maturity in helium exploration and development, considering spatial and temporal dimensions. The research identifies three phases in China's helium research since 2000: initial emergence, fluctuating growth, and recent explosive expansion, and points out that the fast development is driven by government policies, technological breakthroughs, global supply chain shifts, and surging market demand. Universities, petroleum companies, and geological survey organizations each contribute unique expertise to the research landscape, fostering collaboration, with leading institutions exerting significant influence. Key research areas include helium reservoir formation, accumulation patterns, resource assessment, basin studies, and technology evaluation, evolving dynamically over time. Future efforts should focus on strengthening fundamental research and driving technological innovation to secure China's helium supply. This study offers a comprehensive overview of the research landscape, providing essential guidance for future investigations and national resource strategies.

Keywords helium, accumulation condition, helium-rich gas reservoir, enrichment mechanism, bibliometric analysis, research prospects

李华洋 北京大学能源研究院博士研究生。主要研究领域：天然氢气和氦气。E-mail: lihuayang110@stu.pku.edu.cn

LI Huayang Ph.D. candidate at the Institute of Energy, Peking University. His research focuses on natural hydrogen and helium. E-mail: lihuayang110@stu.pku.edu.cn

刘全有 北京大学博雅特聘教授、博士生导师。主要研究领域：天然气地质与地球化学。E-mail: liuqy@pku.edu.cn

LIU Quanyou Boya Distinguished Professor and Ph. D. supervisor at Peking University. His research focuses on natural gas geology and geochemistry. E-mail: liuqy@pku.edu.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author