

ZHANG Tengfei, XU Lin, YANG Wei, WANG Yanhai, HAN Juanjuan, LIN Yangting, LI Xianhua. Bibliometrics-based Evaluation of International Scientific Research Impact of China's Lunar Exploration Program (in Chinese). *Chinese Journal of Space Science*, 2026, **46**(1): 1–21. CSTR:32142.14.cjss.2025–0029. DOI:10.11728/cjss2026.01.2025–0029

基于文献计量学的中国探月工程 国际科研影响力评估*

张腾飞¹ 徐琳² 杨蔚¹ 王燕海¹
韩娟娟² 林杨挺¹ 李献华¹

1(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

2(中国科学院国家空间科学中心 北京 100190)

摘要 基于 Web of Science 核心合集数据库, 采用文献计量学方法对中国探月工程 (2003–2024) 的科研产出进行系统分析. 通过量化评估 1023 篇 SCI 论文的时空分布特征、国际合作态势及学术影响力, 揭示了中国探月工程对全球月球科学研究的贡献. 研究表明, 中国探月工程的实施使中国月球科学领域发文量占比提升至 32.6% (2024 年), 工程产出论文的 CNCI 值 (1.03) 超越全球均值; 科研突破集中于嫦娥四号 (月球背面着陆巡视探测) 与嫦娥五号 (月球样品分析) 任务, 产出 181 篇高影响力论文; 国际引用情况中, 非中国机构占比显著增长, 显示工程成果获得广泛国际认可. 研究成果为评估中国深空探测计划的科学效益提供了定量依据.

关键词 文献计量, 月球科学, 中国探月工程 (嫦娥工程), 月球样品, 有效载荷 (科学载荷), 国际影响力

中图分类号 P184

Bibliometrics-based Evaluation of International Scientific Research Impact of China's Lunar Exploration Program

ZHANG Tengfei¹ XU Lin² YANG Wei¹ WANG Yanhai¹
HAN Juanjuan² LIN Yangting¹ LI Xianhua¹

1(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

2(National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract As human exploration of the Moon continues to advance, the Chinese Lunar Exploration Program (later referred to as the Chang'E Project) has emerged as a key component of China's deep space exploration strategy, garnering widespread attention within the international academic communi-

* 国家自然科学基金科技活动项目 (L2224032) 和中国科学院学部前沿交叉研判研究项目 (XK2022DXC004) 共同资助

2025-02-26 收到原稿, 2025-07-31 收到修定稿

©The Author(s) 2026. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ty and driving the development of China's lunar science research community. Since the launch of the Chang'E Project in 2004, related research has yielded a series of remarkable achievements. These findings have provided new evidence for understanding the formation and evolutionary history of the moon, while also laying the groundwork and accumulating experience for future deep space exploration activities. Based on the Web of Science Core Collection Database, this study uses bibliometric methods to systematically analyze the scientific output of the Chinese Lunar Exploration Program (2003–2024). By quantitatively evaluating the spatial and temporal distribution characteristics, international cooperation dynamics, and academic influence of 1023 SCI papers, the study reveals the contribution of Chinese Lunar Exploration Program to the global lunar scientific research. The study shows that: the implementation of Chinese Lunar Exploration Program has increased China's share of publications in the field of lunar science to 32.6% (2024), and the CNCI value of the project's output papers (1.03) exceeds the global average; scientific breakthroughs are concentrated in the Chang'E-4 (lunar backside landing and roving exploration) and Chang'E-5 (lunar sample analysis) missions, and the project outputs 181 high-impact papers; the proportion of international citations from non-Chinese institutions has increased significantly, indicating that the engineering results have gained wide international recognition. This study provides quantitative evidence for evaluating the scientific benefits of China's deep space exploration program, and will also serve as an important reference for China's future deep space exploration strategic planning and planetary science development.

Key words Bibliometrics, Lunar science, Chinese Lunar Exploration Program (Chang'E Project), Lunar samples, Payloads (Scientific payloads), International influence

0 引言

随着人类对月球探索活动的持续推进,中国探月工程(又称嫦娥工程)作为中国深空探测战略的重要组成部分,逐渐受到国际学术界的广泛关注^[1,2],并促进了中国月球科学研究队伍的发展^[3].自2004年嫦娥工程启动以来,相关研究取得了一系列令人瞩目的成果^[4–10].这些成果为理解月球形成与演化历史提供了新的证据,同时也为未来深空探测活动积累了经验,奠定了基础.

在过去的20年中,嫦娥工程完成了“绕、落、回”三步走的规划.其中,嫦娥四号首次实现月球背面着陆和巡视探测;嫦娥五号完成了中国首次地外天体采样返回任务;嫦娥六号则开展了人类首次在月球背面采样返回.基于这些探测任务获取的数据和样品,中国科学家在月球内部结构、月表物质组成、地形地貌特征及空间环境等多个领域开展了系统研究,为认识月球的物理化学性质及演化历史提供了重要依据.

本文基于Web of Science (WoS)中的Science Citation Index (SCI)数据库,采用文献计量学方法^[11–13],对嫦娥工程相关研究成果进行定量分析.研究内容包括:论文产出数量与时间分布特征、学科领

域与期刊分布规律、各主要国家和机构的产出情况与合作态势,以及各次任务(嫦娥一号至嫦娥五号)及其科学载荷的成果产出趋势.文献计量学在航天工程评价中具有重要的应用价值,可以通过定量分析揭示科研活动的规律与影响力.在嫦娥工程的评价中,文献计量学方法可以系统追踪研究论文的时空分布、国际合作网络以及学科交叉趋势,从而客观评估工程的技术创新性与科学贡献度.例如,通过分析高被引论文与核心期刊分布,可识别关键突破点;通过合作网络图谱,可以反映中国在全球月球科学领域的话语权位置,以及这一位置的变化趋势.此外,针对不同任务阶段的论文产出与引文动态分析,可量化各次任务的学术影响力差异,为后续任务规划提供数据支撑.这种基于大数据的评价手段,弥补了传统定性评估的局限性,使航天工程效益分析更加科学化、精细化.通过系统分析嫦娥工程对月球科学研究的贡献,为中国未来深空探测战略规划及行星科学发展提供有力的数据支持.

1 数据与方法

文献计量学作为图书情报学科的重要研究领域,

主要基于数学统计等定量分析方法, 对文献的数量特征及其系统结构进行量化研究. 通过系统分析学术产出的数量与分布规律来评估当前科技发展水平, 并据此预测未来研究趋势^[14]. 采用文献计量学理论及方法, 可对科学研究成果进行客观量化评价^[13,15]. 文献计量研究的可靠性主要取决于三个核心维度, 分别是数据来源的权威性与数据质量的完整性、分析方法的科学性以及评价指标的合理性. 这里围绕这三个核心层面(数据层面、方法层面、指标层面), 依次对研究采用的数据来源、分析方法及指标说明进行详细说明, 为研究结论的可靠性与科学性提供支撑.

1.1 数据来源

1.1.1 数据库说明

采用 Web of Science 核心合集^{*}作为基准数据源. 该数据库作为全球最具影响力的跨学科引文索引数据库, 凭借其严格的期刊遴选标准及完整的引文追溯机制, 已成为科技政策制定、科研绩效评估及知识网络分析的重要工具.

1.1.2 数据分析范围说明

(1) 国际月球科学领域基础数据集. 参照 Zhang 等^[13]的研究方法, 以 TS (Topic) = (moon or lunar) 作为检索式, 基于该检索结果, 并通过 WoS 学科分类筛选, 人工排除了人文社科、艺术、生物、医学、生态学、海洋科学等领域的文献, 保留了与月球科学直接相关的自然科学、工程技术及交叉学科的研究成果, 构建了包含 34069 条 SCI 论文数据的国际月球科学领域基础数据集(时间跨度为 1900—2024 年, 文献类型包括 Article, Review article, Letter, News item 等). 检索截止时间为 2024 年 12 月.

(2) 嫦娥工程数据集. 在国际月球科学领域基础数据集中, 以 Chang'E 为主题词进行检索(涵盖标题、摘要和关键词字段), 经人工核查清洗后, 获得 1023 篇与嫦娥工程相关的 SCI 论文(时间跨度为 2003—2024 年). 该数据集主要包括嫦娥一号至嫦娥五号的相关研究, 同时还包括未指定具体任务但涉及嫦娥工程整体研究的论文, 以及少量嫦娥六号和嫦娥七号的研究成果, 所有数据均经过去重处理.

(3) 各嫦娥任务数据集. 基于嫦娥工程数据集, 分别以 Chang'E 1 or Chang'E-1 or CE-1, Chang'E 2 or Chang'E-2 or CE-2, Chang'E 3 or Chang'E-3 or CE-

3, Chang'E 4 or Chang'E-4 or CE-4, Chang'E 5 or Chang'E-5 or CE-5 为主题词进行检索, 经人工校验后获得嫦娥一号至嫦娥五号任务的相关论文, 产出数量分别为 166 篇、146 篇、169 篇、179 篇、284 篇.

(4) 中国嫦娥工程数据集. 中国嫦娥工程数据集特指与嫦娥工程相关的 1023 篇论文中有中国作者参与的论文, 无中国作者参与的未统计在内. 基于嫦娥工程数据集, 在国家产出分布字段限定中国, 获取中国嫦娥工程数据集, 共计 959 篇 SCI 论文. 本数据集仅适用于第 4.1 节嫦娥工程对中国月球科学研究的贡献, 仅分析有中国作者参与的月球科学领域论文. 除 4.1 节之外, 其他章节讨论分析的嫦娥工程产出论文均指与嫦娥工程相关的 1023 篇论文数据集中的所有论文, 无论是否有中国作者参与.

(5) 中国月球科学领域数据集. 根据国际月球科学领域基础数据集, 在产出国家项选取中国, 即获取中国月球科学领域数据集, 共包含 4037 条 SCI 论文数据, 时间跨度为 1979—2024 年. 本数据集在 4.2 节中国对国际月球科学发展的影响中将重点分析讨论.

1.2 分析方法

1.2.1 系统性分析

在完成基础数据准备后, 研究采用多阶段分析方法. 针对上述与嫦娥工程相关的 SCI 论文数据, 开展如下系统性分析.

(1) 利用 WoS 数据库嵌入的分析功能, 从发文趋势、学科分布、期刊来源、各国家/地区产出及合作、主要研究机构及其合作网络、施引论文特征等维度进行系统分析.

(2) 各嫦娥任务进行关联性多维度分析, 包括各项任务阶段与发文趋势关联分析、科学载荷配置与相应论文产出情况、文献计量指标综合评价等, 其中重点分析科学载荷相关研究及各次任务高影响力成果的时序演变特征.

(3) 定量评估嫦娥工程与中国月球科学研究的贡献及学术影响力, 系统考察其对中国月球科学研究的推动作用以及中国对国际月球科学的贡献.

(4) 基于各次任务相关的高影响力论文, 归纳嫦娥工程的主要科学发现.

(5) 总结研究现状与发展趋势, 为中国未来深空探测战略规划及行星科学发展提供决策参考.

* <https://webofscience.clarivate.cn/wos>

1.2.2 研究方法补充说明

学科分类体系. 本文采用的学科分类基于 WoS 的分类标准, 该分类体系由科睿唯安 (Clarivate) 开发, 是其数据库中的重要分类框架. WoS 学科分类以期刊为基础, 每种期刊会被归类至一个或多个学科领域. 例如, 嫦娥工程发表的某些太空风化相关论文发表在 *Communications Earth & Environment*, 该期刊在 WoS 学科分类中同时归属于环境科学、地球科学综合以及气象与大气科学三个学科, 因此在文献计量分析时相关论文也会被划分至以上三个学科. 基于此分类方法, 表 1 所列的论文产出前 10 位学科的文献数量合计为 1533 篇, 超过嫦娥工程总发文量 (1023 篇). 这一差异源于同一论文可能被重复计入多个学科, 属于文献计量分析中的常见现象.

科学载荷论文识别方法. 在嫦娥一号至嫦娥五号相关的 5 个数据集中, 以各次任务携带的科学载荷作

为主题词进行检索, 再对检索结果进行人工识别, 最终得到相关论文数据. 筛选标准为: 论文需以该载荷为主要数据来源, 且在文章题目、摘要、关键词等部分高频出现相关术语.

1.3 指标说明

为全面量化嫦娥工程的学术影响力, 本文采用学科规范化的引文影响力、高影响力论文、 H 指数、影响因子等指标进行分析, 并进行交叉验证, 具体如下.

(1) 学科规范化的引文影响力 (Category Normalized Citation Impact, CNCI). CNCI 值是通过将论文实际被引频次除以同出版年、同学科领域、同文献类型论文的平均被引频次计算得到^[16]. 对于跨学科领域论文, 采用实际被引次数与各学科平均被引次数比值的平均值^[16]. 一组文献的 CNCI 值为所含各篇论文 CNCI 的平均值^[17]. 该指标消除了年份、学科和文献类型的影响, 支持跨领域比较. $CNCI=1$ 表示该组

表 1 嫦娥工程与国际月球科学领域论文产出排名前 10 的学科
Table 1 Top 10 disciplines in terms of paper output in the Chang'E Project and international lunar science field

嫦娥工程					国际月球科学领域				
排名	学科	论文篇数	论文占比/(%)	CNCI值	排名	学科	论文篇数	论文占比/(%)	CNCI值
1	天文学与天体物理学 (Astronomy and Astrophysics)	313	30.6	0.75	1	天文学与天体物理学 (Astronomy and Astrophysics)	11029	32.4	0.72
2	地球科学综合 (Geosciences Multidisciplinary)	238	23.3	0.83	2	地球化学与地球物理学 (Geochemistry and Geophysics)	6911	20.3	1.01
3	地球化学与地球物理学 (Geochemistry and Geophysics)	195	19.1	1.21	3	地球科学综合 (Geosciences Multidisciplinary)	5032	14.8	0.77
4	遥感科学 (Remote Sensing)	183	17.9	0.56	4	自然科学综合 (Multidisciplinary Sciences)	4388	12.9	1.38
5	影像科学与摄影技术 (Imaging Science and Photographic Technology)	170	16.6	0.57	5	航空航天工程学 (Engineering Aerospace)	4003	11.8	0.91
6	电子与电气工程 (Engineering, Electrical and Electronic)	122	11.9	0.79	6	气象与大气科学 (Meteorology and Atmospheric Sciences)	1673	4.9	0.52
7	航空航天工程学 (Engineering Aerospace)	93	9.1	1.12	7	电子与电气工程 (Engineering, Electrical and Electronic)	1093	3.2	0.91
8	自然科学综合 (Multidisciplinary Sciences)	82	8	3.43	8	物理学综合 (Physics Multidisciplinary)	978	2.9	0.55
9	环境科学 (Environmental Sciences)	76	7.4	0.46	9	遥感科学 (Remote Sensing)	965	2.8	0.63
10	气象与大气科学 (Meteorology and Atmospheric Sciences)	61	6	0.48	10	影像科学与摄影技术 (Imaging Science and Photographic Technology)	807	2.4	0.66

注 CNCI值在科睿唯安旗下InCites数据库中检索查询, 该数据库中仅包含1980年以来的数据, 而国际月球科学领域涉及部分1980年之前的数据, 因此其CNCI值可能存在一定误差, 仅供参考.

论文的被引表现达到全球平均水平, $CNCI > 1$ 表示高于全球平均水平, $CNCI < 1$ 则表示低于全球平均水平. 本文中的论文 $CNCI$ 值来源于科睿唯安旗下 In-Cites 数据库.

(2) 自然指数 (Nature Index). 该指数是由 Springer Nature 集团构建的科研评估指标集, 主要评估自然科学领域的高水平研究成果. 通过追踪 145 种精选期刊的论文发表数据, 构建了基于论文计数 (Count) 和贡献份额 (Share) 的评价体系. 作为传统文献计量指标的重要补充, 自然指数提供了机构合作网络、学科交叉分析等可视化工具, 有助于评估科研机构的学科优势与国际合作特征.

(3) ESI 高被引论文. ESI (Essential Science Indicators) 高被引论文指近 10 年内发表且被引次数进入同出版年、同 ESI 学科前 1% 的论文 (Article 和 Review 类型). 该类论文通常具有较高的学术影响力.

(4) 高影响力论文. 高影响力论文属本文自定义指标. 高影响力论文包括发表在 *Nature* 和 *Science* 正刊及子刊的论文, 入选自然指数 (Nature Index) 期刊的论文, 以及 ESI 高被引论文.

(5) H 指数 (H -Index). 科研人员或文献集的 H 指数是指其有 H 篇论文, 每篇至少被引用 H 次, H 指数综合衡量了论文产出数量与影响力.

(6) 施引论文. 引用目标论文或文献集的其他论文集合. 例如某篇论文或某组论文被其他论文所引用, 这些其他论文就形成一组施引论文. 这里施引论文指引用了与嫦娥工程相关论文的论文.

(7) 影响因子 (IF). 美国科学信息研究所 (ISI) 在期刊引证报告 (JCR) 中发布的一项关键指标. 该指标

通过统计特定时间段内某期刊文章的平均被引用频次, 反映期刊的学术影响力. 作为国际通行的期刊评价标准, 影响因子可用于评估期刊的学术价值、整体质量以及论文的学术水平.

(8) JCR 分区 (JCR). JCR 分区是基于 WoS 学科分类体系 (Subject Categories) 的期刊评价方法. 其具体划分规则为: 将各学科类别中的期刊按影响因子降序排列, 前 25% 的期刊归入 Q1 区 (一区), 随后 25% 归入 Q2 区 (二区), 依此类推划分 Q3 区 (三区) 和 Q4 区 (四区).

(9) Q1 期刊论文. 发表在 JCR Q1 分区期刊上的论文.

2 嫦娥工程论文产出总体情况分析

2.1 论文数量年度趋势分析

图 1 给出了 2003—2024 年嫦娥工程发文数量演变趋势, 黄色方框和红色箭头标注了嫦娥任务发射时间. 从图 1 可以看出, 嫦娥工程相关发文量总体呈逐年上升趋势, 其变化与嫦娥系列任务的发射时间存在一定相关性. 在嫦娥四号发射前, 发文量出现短暂下降; 而在嫦娥四号和嫦娥五号成功发射后, 发文量增长速率显著提升, 并于嫦娥五号发射后的 2024 年达到峰值 (145 篇).

2.2 学科领域分布特征

嫦娥工程相关论文主要分布在天文学与天体物理学、地球科学综合、地球化学与地球物理学、遥感科学、影像科学与摄影技术、电子与电气工程、航空航天工程学、自然科学综合、环境科学、气象与大

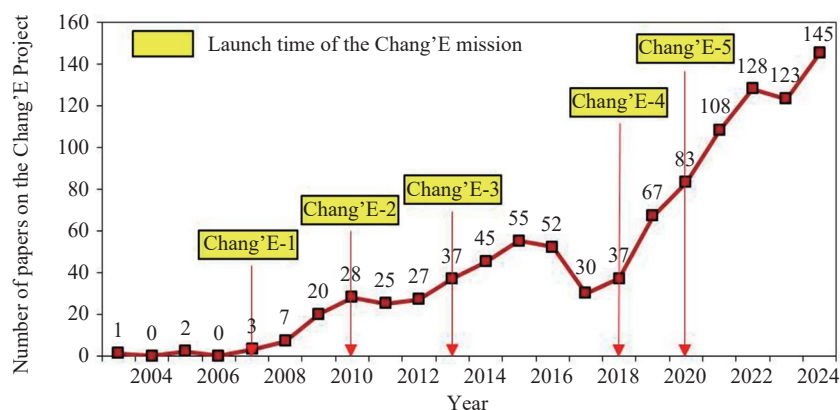


图 1 2003—2024 年嫦娥工程发文数量演变趋势

Fig. 1 Evolutionary trend of publication quantity of the Chang'E Project from 2003 to 2024

气科学等学科领域 (见表 1). 从学科分布来看, 地球科学综合 (Geosciences Multidisciplinary) 排名第 2, 体现了该领域多学科交叉的研究特征; 遥感科学 (Remote Sensing) 和影像科学与摄影技术 (Imaging Science and Photographic Technology) 分列第 4 和第 5, 这与中国在深空探测任务中具备自主技术和原位探测能力密切相关.

与国际月球科学研究领域的学科分布相比, 嫦娥工程论文产出前 10 的学科中有 9 个与国际领域重合, 差异主要体现在环境科学 (中国前 10 学科) 与物理学综合 (国际前 10 学科) 的分布差异上. 值得注意的是, 中国在遥感科学和影像科学与摄影技术领域的论文占比显著高于国际水平 (在中国分别位列前 5, 而在国际领域则排在前 10 中的最后两位).

在学科规范化的引文影响力 (CNCI) 方面, 论文产出前 10 的学科中有 3 个学科 (自然科学综合、地球化学与地球物理学、航空航天工程学) 的 CNCI 值高于全球平均水平 (分别为 3.43, 1.21 和 1.12), 其余 7 个学科则略低于全球平均水平 (见表 1). 由于 CNCI 指标已通过归一化处理, 是一个相对值, 其数值不受学科间期刊数量差异的影响, 能够客观反映各学科的相对引文影响力.

2.3 期刊分布特征

嫦娥工程相关研究成果的发文数量排名前 10 的期刊列于表 2. 从期刊所属国家/地区分布来看, 美国 6 种, 中国 1 种, 瑞士 1 种, 英国 1 种, 荷兰 1 种. 根据期刊 JCR 分区统计, 这 10 种期刊包括 5 种 Q1 区期刊、

3 种 Q2 区期刊和 2 种 Q3 区期刊, 这一分布情况在一定程度上反映了嫦娥工程相关研究的较高学术影响力.

2.4 国际合作情况分析

2.4.1 各国论文产出情况

嫦娥工程相关论文产出共涉及 32 个国家或地区, 其中论文数量排名前 10 位的国家依次为中国、美国、德国、英国、法国、日本、澳大利亚、瑞典、意大利和俄罗斯 (统计标准为作者机构所属国家, 不区分是否为第一单位或通信单位). 从国家分布来看, 美国、德国、英国、法国等欧美国家在论文产出中榜上有名, 反映了以欧美强国为代表的国际学术界对嫦娥工程的广泛关注.

在学科规范化的引文影响力 (CNCI) 方面, 除日本和俄罗斯外, 其余 8 个国家产出的嫦娥工程相关论文的 CNCI 值均高于全球平均水平. 其中中国在论文数量显著领先的情况下, CNCI 值达到 1.11, 表明中国嫦娥工程研究成果在国际学术界具有一定影响力 (见表 3).

基于国际合作视角的嫦娥工程科研成果分析显示 (见图 2), 中国在该领域的研究活动中处于较为活跃的地位. 图 2 中数据显示, 在嫦娥工程相关研究成果产出的国家中, 中国以 959 篇的学术产出量位居首位, 其中跨国合作论文 218 篇, 占总产出量的 22.7%. 值得注意的是, 在其他主要参与国的国际合作论文中, 中国通常作为主要合作伙伴出现.

嫦娥工程相关研究共产生 1023 篇 SCI 论文, 平均 CNCI 值为 1.03. 其中国际合作论文 234 篇, 平均

表 2 嫦娥工程论文产出排名前 10 的期刊
Table 2 Top 10 journals by paper outputs of the Chang'E Project

排名	期刊 (国别)	论文篇数	论文占比/(%)	影响因子	JCR分区
1	Icarus (美国)	69	6.7	2.5	Q2
2	Remote Sensing (瑞士)	68	6.6	4.2	Q2
3	Advances in Space Research (英国)	48	4.7	2.8	Q2
4	Journal of Geophysical Research-Planets (美国)	47	4.6	3.9	Q1
5	Research in Astronomy and Astrophysics (中国)	45	4.4	1.8	Q3
6	Geophysical Research Letters (美国)	44	4.3	4.6	Q1
7	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (美国)	44	4.3	7.5	Q1
8	Planetary and Space Science (美国)	33	3.2	1.8	Q3
9	Earth and Planetary Science Letters (荷兰)	28	2.7	4.8	Q1
10	IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (美国)	24	2.3	4.7	Q1

表 3 嫦娥工程论文产出排名前 10 的国家
Table 3 Top 10 countries in terms of the Chang'E Project paper outputs

排名	国家	论文篇数	论文占比/(%)	CNCI值
1	中国	959	93.7	1.11
2	美国	129	12.6	1.69
3	德国	44	4.3	2.2
4	英国	38	3.7	2.02
5	法国	35	3.4	1.16
6	日本	18	1.8	0.76
7	澳大利亚	14	1.4	1.82
8	瑞典	14	1.4	1.95
9	意大利	13	1.3	1.66
10	俄罗斯	13	1.3	0.44

CNCI 值为 1.44, 这一数据表明, 国际合作论文的影响力相对较高, 凸显国际合作的重要性. 在合作网络方面, 中国与 29 个国家或地区建立了科研合作关系, 其中合作论文数量较多的国家包括美国、英国、德国、法国、日本、瑞典、澳大利亚、意大利、俄罗斯和加拿大 (见表 4), 这反映了中国在深空探测领域国际合作的广泛性.

通过学科规范化引文影响力指数 (CNCI) 评估发现, 中国与主要合作国家的科研成果表现存在一定差异. 数据显示, 除与日本 (CNCI=0.83) 和俄罗斯 (CNCI=0.57) 的合作外, 中国与其他 8 个主要合作国家的论文 CNCI 值均高于全球基准水平 (CNCI=1.00). 其中, 中德 (CNCI=2.53)、中澳 (CNCI=2.40) 及中英 (CNCI=2.16) 合作成果的影响力相对突出 (见表 4). 中国整体发文 CNCI 值为 1.11, 而与欧美主要科技国家的合作论文 CNCI 值普遍高于这一水平, 这表明与这些国家的合作可能有助于提升科研成果的学术影响力.

基于上述发现, 国际合作学术影响较好, 建议继续加强国际合作, 一方面保持与德国、澳大利亚、英国等合作效果较好的国家的联合研究; 另一方面拓展与美国 (CNCI=1.87)、法国 (CNCI=1.13)、加拿大 (CNCI=1.56) 等具有合作潜力国家的科研交流, 以进一步提升嫦娥工程相关研究的国际影响力.

2.4.2 嫦娥工程论文产出的国际合作及参与趋势分析

基于本文构建的嫦娥工程数据集的统计数据显

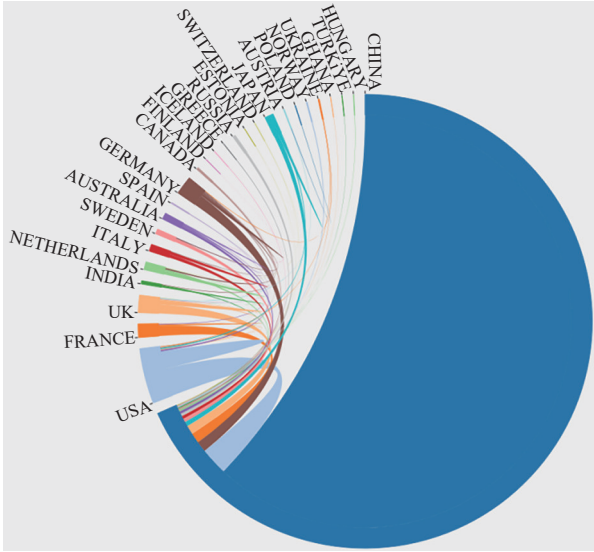


图 2 嫦娥工程产出论文国际合作图谱

Fig. 2 International co-operation atlas of papers output by the Chang'E Project

表 4 中国合作前 10 国家
Table 4 Top 10 countries for China's co-operation

排名	国家	合作论文篇数	合作论文占中国发文比例/(%)	合作论文 CNCI 值
1	美国	99	10.3	1.87
2	英国	37	3.9	2.16
3	德国	35	3.7	2.53
4	法国	33	3.4	1.13
5	日本	14	1.5	0.83
6	瑞典	13	1.4	2.1
7	澳大利亚	10	1.0	2.4
8	意大利	8	0.8	2.1
9	俄罗斯	8	0.8	0.57
10	加拿大	7	0.7	1.56

示, 嫦娥工程相关研究共涉及 32 个国家或地区、608 个科研机构 and 3526 位学者. 通过对这些科研产出指标的逐年变化进行分析, 可以反映嫦娥工程国际影响力的演变特征.

统计结果表明, 参与嫦娥工程相关研究及发表论文的国家或地区、机构和学者数量均呈现持续增长趋势. 特别值得注意的是, 在嫦娥四号 (2018 年发射) 和嫦娥五号 (2020 年发射) 任务实施后, 各项指标的增长率显著提升. 截至 2024 年的数据显示, 这些指标均

达到历史峰值, 如图 3 所示 (黄色方框和红色箭头标注嫦娥任务发射时间). 这一趋势表明, 嫦娥工程的国际科研合作网络持续扩大, 其学术影响力呈稳步提升的态势.

2.5 主要研究机构及其合作网络

在嫦娥工程相关论文产出数量排名中, 位列前 10 的机构依次为中国科学院国家天文台、澳门科技大学、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院地球化学研究所、中国地质大学 (武汉)、吉林大学、中国科学院国家空间科学中心、中国科学院上海技术物理研究所、南京大学、中国科学院比较行星学卓越创新中心 (见表 5). 从机构类型分布来看, 中国科学院系统占 6 席, 高等教育机构占 4 席, 表明嫦娥工程研究形成了以国家级科研机构为核心、高校参与

协同的研究格局, 体现了中国在深空探测领域的系统性研究能力.

在学科规范化的引文影响力 (CNCI) 方面, 10 家机构中有 7 家的 CNCI 值超过全球平均水平. 其中, 中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院地球化学研究所和南京大学表现较为突出, CNCI 值分别为 2.65, 2.33 和 1.97 (见表 5).

为进一步分析机构贡献, 表 6 统计了以第一单位或通信单位发表的嫦娥工程论文数量排名. 结果显示, 前 10 家机构中, 有 5 家来自中国科学院系统 (例如国家天文台、地质与地球物理研究所等), 5 家为高等教育机构 (例如澳门科技大学、吉林大学等). 在 CNCI 值方面, 6 家机构均超过全球平均水平, 中国科学院地质与地球物理研究所 (2.62)、中国科学院国家

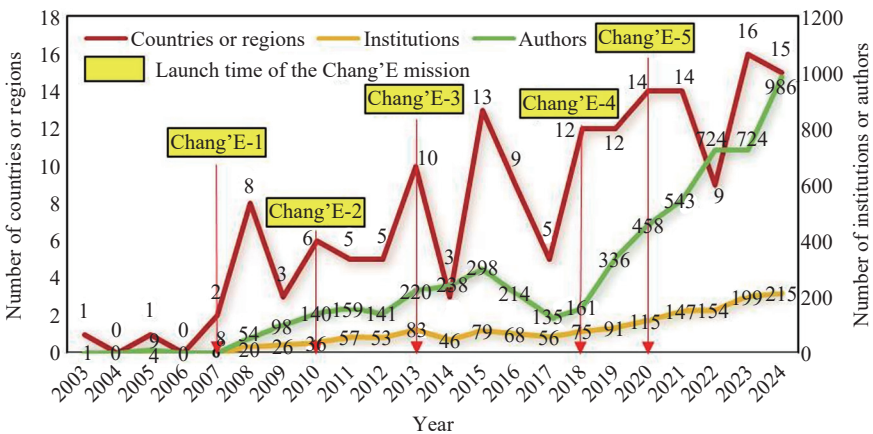


图 3 2003—2024 年嫦娥工程发文涉及国家或地区、机构、作者数量随年份演变趋势

Fig. 3 Annual evolutionary trends in the number of countries or regions, organizations and authors involved in the Chang'E Project's published papers from 2003 to 2024

表 5 嫦娥工程论文产出排名前 10 的机构

Table 5 Top 10 institutions by paper output of the Chang'E Project

排名	机构	论文篇数	论文占比/(%)	CNCI值
1	中国科学院国家天文台	205	20.0	1.58
2	澳门科技大学	178	17.4	0.97
3	中国科学院地质与地球物理研究所	97	9.5	2.65
4	中国科学院地球化学研究所	94	9.2	2.33
5	中国地质大学 (武汉)	85	8.3	1.73
6	吉林大学	74	7.2	0.63
7	中国科学院国家空间科学中心	70	6.8	1.78
8	中国科学院上海技术物理研究所	59	5.8	1.28
9	南京大学	58	5.7	1.97
10	中国科学院比较行星学卓越创新中心	54	5.3	1.5

空间科学中心 (2.27) 及中国科学院国家天文台 (1.98) 位居前列 (见表 6).

嫦娥工程相关研究机构间的合作较为广泛. 在合作论文数量方面, 中国科学院国家天文台、澳门科技大学、中国科学院地质与地球物理研究所位列前 3. 从合作论文占比来看, 排名前 3 的是中国科学院比较行星学卓越创新中心、中国科学院地球化学研究所和吉林大学 (见表 7).

表 6 嫦娥工程论文产出排名前 10 的机构 (根据第一单位或通信单位)

Table 6 Top 10 institutions by paper output of Chang'E Project (According to the first organization or correspondence organization)

排名	机构 (第一单位或通信单位)	论文篇数	论文占比/(%)	CNCI值
1	中国科学院国家天文台	108	10.6	1.98
2	澳门科技大学	93	9.1	0.86
3	中国科学院地质与地球物理研究所	71	6.9	2.62
4	吉林大学	63	6.2	0.62
5	中国地质大学 (武汉)	57	5.6	1.89
6	中国科学院地球化学研究所	42	4.1	1.48
7	武汉大学	37	3.6	0.47
8	中国科学院国家空间科学中心	36	3.5	2.27
9	山东大学	33	3.2	1.01
10	中国科学院上海天文台	33	3.2	0.45

表 7 嫦娥工程产出论文前 10 机构与其他机构合作情况

Table 7 Cooperation status in paper output between the top 10 institutions and other institutions of the Chang'E Project

排名	机构	论文篇数	CNCI值	占嫦娥工程发文比例/(%)	与其他机构合作论文篇数	与其他机构合作论文CNCI值	与其他机构合作论文百分比/(%)	国内合作论文篇数	国内合作论文CNCI值	国内合作百分比/(%)	国际合作论文篇数	国际合作论文CNCI值	国际合作百分比/(%)
1	中国科学院国家天文台	205	1.58	20	185	1.66	90.2	128	1.66	62.4	57	1.67	27.8
2	澳门科技大学	178	0.97	17.4	163	1.03	91.6	98	0.98	55.1	61	1.11	34.3
3	中国科学院地质与地球物理研究所	97	2.65	9.5	91	2.7	93.8	72	2.76	74.2	19	2.49	19.6
4	中国科学院地球化学研究所	94	2.33	9.2	90	2.37	95.7	73	2.51	77.7	17	1.79	18.1
5	中国地质大学(武汉)	85	1.73	8.3	71	1.78	83.5	27	1.02	31.8	44	2.24	51.8
6	吉林大学	74	0.63	7.2	70	0.63	94.6	56	0.57	75.7	14	0.9	18.9
7	中国科学院国家空间科学中心	70	1.78	6.8	66	1.8	94.3	34	2.38	48.6	32	1.18	45.7
8	中国科学院上海技术物理研究所	59	1.28	5.8	52	1.32	88.1	40	1.24	67.8	12	1.61	20.3
9	南京大学	58	1.97	5.7	54	1.97	93.1	30	1.32	51.7	23	2.87	39.7
10	中国科学院比较行星学卓越创新中心	54	1.5	5.3	54	1.5	100	34	1.22	63	20	1.97	37

在国内合作方面,中国科学院地球化学研究所、吉林大学和中国科学院地质与地球物理研究所的合作规模相对较大;中国地质大学(武汉)、中国科学院国家空间科学中心和南京大学则表现出较高的国际合作倾向(见表7).

2.6 施引论文影响力分析

基于文献计量学方法,通过构建专题数据库对嫦娥工程相关科研成果进行系统分析.检索结果显示,嫦娥工程产出的1023篇SCI论文已获得广泛的国际学术关注.数据显示,这些论文共被93个国家或地区、3440个科研机构、20565名学者发表的5434篇WoS核心合集论文引用.这一基础数据为评估嫦娥工程的国际学术影响力提供了量化依据.

从时间维度分析,施引论文数量变化呈现出显著的阶段性特征.自2007年嫦娥一号任务实施以来,施引论文数量持续增长,其中2020年嫦娥五号任务实现采样返回后,出现显著增长拐点.截至2024年,年度施引论文数量达到历史峰值(1027篇),如图4所示.这一趋势不但反映了嫦娥工程国际学术影响力的持续提升,而且凸显了月球样品返回任务对科学研究的重要推动作用.

从国家分布特征来看,施引论文产出量前6的国家与嫦娥工程直接发文量前6位的国家基本吻合.其中,中国和美国分别位居前两位,德国、英国、法国等国家紧随其后(见表8).值得关注的是,与工程直接发文相比,施引论文中,中国的占比有所下降,而其他

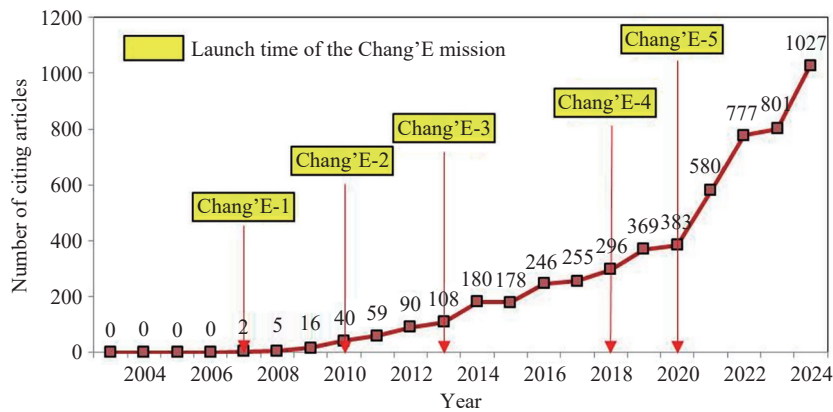


图4 2003—2024年施引论文数量随年份变化趋势

Fig. 4 Trends in the number of citing articles from 2003 to 2024

表8 嫦娥工程及其施引论文的前10产出国家

Table 8 Top 10 countries in paper output of the Chang'E Project and its citing articles

嫦娥工程				施引论文			
排名	国家	论文篇数	比例/(%)	排名	国家	施引论文篇数	比例/(%)
1	中国	959	93.7	1	中国	3441	63.3
2	美国	129	12.6	2	美国	1172	21.6
3	德国	44	4.3	3	德国	362	6.7
4	英国	38	3.7	4	英国	283	5.2
5	法国	35	3.4	5	法国	259	4.8
6	日本	18	1.8	6	日本	243	4.5
7	澳大利亚	14	1.4	7	意大利	201	3.7
8	瑞典	14	1.4	8	印度	168	3.1
9	意大利	13	1.3	9	俄罗斯	143	2.6
10	俄罗斯	13	1.3	10	澳大利亚	140	2.6

国家占比均呈现上升趋势,这一现象从另一个角度表明,嫦娥工程的国际影响力的提升。

机构层面的分析同样支持上述结论,施引论文的产出情况呈现出明显的国际化趋势。数据显示,嫦娥工程发文 Top 10 机构全部为中国机构,而施引论文 Top 10 机构中则包含 7 个中国机构、2 个美国机构和 1 个法国机构(见表 9)。值得注意的是,澳门科技大学和中国科学院国家天文台在施引论文产出中位居前列,美国航空航天局和加州大学系统分别位列第 3 和第 7 位,法国国家科学研究中心位列第 10 位。在论文产出占比方面,与嫦娥工程直接发文相比,施引论文 Top 10 机构中的 6 个中国代表性机构(中国科学院国家天文台、澳门科技大学、中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质大学(武汉)、吉林大学、武汉大学)的占比均有下降,而美、法两国机构的占比则呈上升趋势,这一变化进一步印证了嫦娥工程影响力的国际化拓展。

在论文质量方面:5434 篇施引论文中包含 5054 篇 SCI 论文,其中顶级期刊论文 122 篇(*Nature* 和 *Science* 正刊 27 篇,子刊 95 篇),*Nature Index* 期刊论文 408 篇,并产生 57 篇 ESI 高被引论文和 1 篇 ESI 热点论文。这些高质量研究成果的出现,标志着嫦娥工程正在推动相关领域取得重要科学突破。

3 嫦娥任务关联性多维度分析

3.1 任务阶段与发文趋势关联分析

根据检索数据,嫦娥一号至嫦娥五号任务对应的科研论文产出数量分别为 166 篇、146 篇、169 篇、179 篇、284 篇。

嫦娥工程各任务阶段的论文产出趋势与其发射时间呈现一定的相关性(见图 5)。数据分析表明,在每次任务发射之后的 2~3 年内,相关论文发表量达到阶段性峰值,随后呈现逐渐下降趋势。其中嫦娥五号任务(2020 年发射)的相关研究在 2022 年达到 79 篇,创下了嫦娥工程各任务年度发文量的最高记录。这一数据变化可能与嫦娥五号成功获取月壤样品后带来的新增研究课题有关,也在一定程度上反映了嫦娥五号返回月壤样品对嫦娥工程科研产出的显著促进作用。

3.2 科学载荷配置与相应论文产出情况

为实现预定的科学目标,中国嫦娥系列探测器(嫦娥一号至嫦娥五号)根据各自任务特点进行了针对性的科学载荷配置,并规划了相应的科学探测任务。具体而言,嫦娥一号搭载了 8 台科学载荷,嫦娥二号搭载 7 台科学载荷,嫦娥三号搭载 8 台科学载荷,嫦娥四号搭载 9 台科学载荷,嫦娥五号搭载 4 台科学

表 9 嫦娥工程及其施引论文的前 10 产出机构
Table 9 Top 10 institutions in paper outputs of the Chang'E Project and its citing articles

嫦娥工程					施引论文				
排名	机构	所属国家	论文篇数	比例/(%)	排名	机构	所属国家	施引论文篇数	比例/(%)
1	中国科学院国家天文台	中国	205	20	1	澳门科技大学	中国	292	5.4
2	澳门科技大学	中国	178	17.4	2	中国科学院国家天文台	中国	272	5
3	中国科学院地质与地球物理研究所	中国	97	9.5	3	美国航空航天局	美国	264	4.9
4	中国科学院地球化学研究所	中国	94	9.2	4	武汉大学	中国	221	4.1
5	中国地质大学(武汉)	中国	85	8.3	5	中国科学院地质与地球物理研究所	中国	197	3.6
6	吉林大学	中国	74	7.2	6	哈尔滨工业大学	中国	175	3.2
7	中国科学院国家空间科学中心	中国	70	6.8	7	加州大学系统	美国	167	3.1
8	中国科学院上海技术物理研究所	中国	59	5.8	8	吉林大学	中国	163	3
9	南京大学	中国	58	5.7	9	中国地质大学(武汉)	中国	162	3
10	中国科学院比较行星学卓越创新中心	中国	54	5.3	10	法国国家科学研究中心	法国	157	2.9

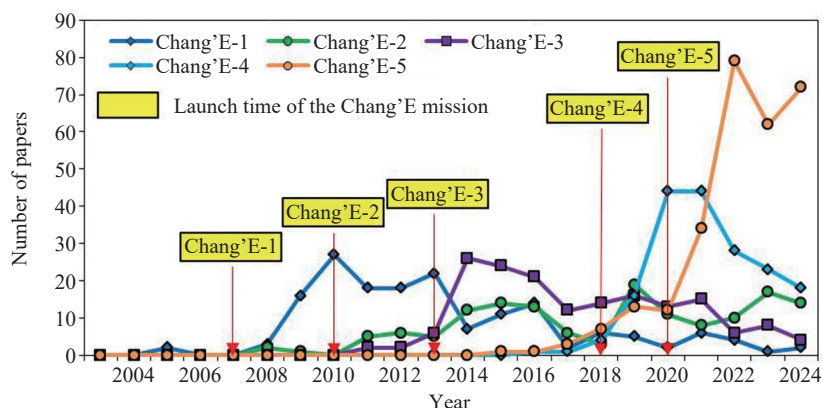


图5 2003—2024年嫦娥工程各任务发文数量逐年演变趋势

Fig. 5 Annual evolutionary trends in the number of published papers by each mission of the Chang'E Project from 2003 to 2024

载荷. 通过对这些科学载荷获取的数据进行系统分析与综合研究, 取得了多项重要科学发现. 值得注意的是, 多数研究成果需要整合多台载荷的数据进行协同分析, 这充分体现了多源数据融合在月球科学研究中的重要性. 相关研究成果数量详见表10.

嫦娥五号作为中国首次月球采样返回任务, 也是中国探月工程“绕、落、回”三步走的收官之作, 其核心任务是成功采集月球样品并返回地球. 在任务设计过程中, 为优先保障采样返回系统的可靠性, 在有限的发射重量与复杂任务流程的约束下, 该任务配置的科学载荷数量相对较少, 相应的载荷论文产出也最少. 尽管如此, 嫦娥五号任务仍取得了举世瞩目的科学成就: 成功采集 1.731 kg 月壤样品; 已产出 284 篇相关 SCI 论文; 部分研究成果对月球演化的认识提供了新的科学证据. 借助地球实验室精密的分析技术对月球样品开展精细分析, 不仅提升了月球科学认知的深度和精度, 还为遥感数据验证及原位探测结果校准提供了重要基准. 这些样品所蕴含的科学信息, 对后续探月任务规划和月球科研站建设等具有重要参考价值.

基于嫦娥工程科学探测数据的文献计量分析表明, 截至 2024 年, 该工程累计搭载科学载荷约 15 台/套 (见图6); 从学术论文产出维度观察, 不同科学载荷的研究热度呈现明显分化特征. 具体数据显示, 测月雷达 (3 次任务搭载) 相关研究文献达 122 篇, 光谱仪 (4 次任务搭载) 以 84 篇次之, 其余载荷的论文产出依次为降落相机 (60 篇/3 次)、微波探测器 (47 篇/2 次)、地形地貌相机 (35 篇/2 次)、激光高度计 (31 篇/2 次)、CCD 立体相机 (27 篇/2 次)、 γ 射线谱

仪 (24 篇/2 次)、全景相机 (22 篇/3 次)、X 射线谱仪 (21 篇/3 次). 这种非均衡分布反映了不同科学仪器在月球科学研究中的学科关注度差异及其应用潜力. 另外图6中的太阳风及高能粒子探测器 (Solar Wind and High-energy Particle Detector) 是 3 类探测器的统称, 包含嫦娥一号、嫦娥二号的太阳风离子探测器和太阳高能粒子探测器, 以及嫦娥四号的中子及辐射剂量探测仪.

需要特别说明的是, 嫦娥工程各次任务的科学载荷配置严格遵循特定科学目标, 具有明确的系统性与互补性特征. 每台科学载荷均基于其独特的技术参数和探测功能, 在月球物质成分、浅层结构、地形地貌等不同研究领域发挥着不可替代的作用. 鉴于科学载荷的功能专属性和任务差异性, 采用文献计量学指标进行横向比较存在一定局限, 难以对各科学载荷的科学贡献进行简单的量化比较. 这里引用的论文数据仅用于呈现学术领域的研究动态, 不应视为对科学载荷价值的评判依据. 未来研究需结合科学载荷的工程实现度、数据质量及科学发现贡献度等多维指标, 建立更全面的评估体系.

3.3 文献计量指标综合评价

对嫦娥工程相关的所有论文进行了文献计量分析, 涵盖中国参与及未参与的发表论文. 分析指标包括论文期刊级别、期刊影响因子、CNCI 值、ESI 高被引论文、H 指数、被引频次、施引文献及国际合作情况等 (见表11).

从表11和图7可以看出, 嫦娥五号在如下指标上表现突出.

表 10 各嫦娥任务携带科学载荷以及相应论文产出情况
Table 10 Status of scientific payloads carried by each Chang'E mission and corresponding paper outputs

嫦娥工程系列	科学载荷名称	论文数
嫦娥一号 (8台)	干涉成像光谱仪	26
	激光高度计	21
	γ射线谱仪	18
	CCD立体相机	15
	微波探测仪	14
	太阳风离子探测器	6
	X射线谱仪	4
	太阳高能粒子探测器	2
嫦娥二号 (7台)	微波探测仪	33
	CCD立体相机	12
	激光高度计	10
	γ射线谱仪	6
	X射线谱仪	5
	太阳风离子探测器	3
	太阳高能粒子探测器	1
嫦娥三号 (8台)	测月雷达	50
	降落相机	24
	红外成像光谱仪	16
	地形地貌相机	15
	粒子激发 X 射线谱仪	12
	全景相机	12
	极紫外相机	10
	月基光学望远镜	9
嫦娥四号 (9台)	测月雷达	53
	红外光谱仪	28
	降落相机	22
	地形地貌相机	20
	全景相机	10
	中性原子探测仪	9
	中子及辐射剂量探测仪	8
	低频射电探测仪	6
	低频射电频谱仪	3
嫦娥五号 (4台)	月壤结构探测仪 (测月雷达)	19
	月球矿物光谱分析仪	14
	降落相机	14
	全景相机	0

(1) 顶级期刊论文产出数量达最高水平. 共发表 32 篇论文, 包括 *Nature* 与 *Science* 正刊 8 篇. 其中, 中国作者参与完成 5 篇, 6 篇 Article 和 2 篇 News Item. 子刊 24 篇, 发表的顶刊和子刊超过前四次嫦娥任务总和.

(2) Nature Index 期刊论文数量 (66 篇) 与 Q1 期刊论文数量 (150 篇) 均居首位.

(3) CNCI 值为 1.68, 显著高于全球平均水平.

(4) 嫦娥工程产出的 10 篇 ESI 高被引论文中有 9 篇来自该任务.

(5) 国际合作论文数量最多, 国际合作论文占比达 21.8%.

嫦娥四号任务在多数指标上位列第二, 而国际合作论文占比最高 (31.8%), 其 CNCI 值 (1.1), 同样超过全球平均水平. 整体而言, 嫦娥工程论文产出的 CNCI 值为 1.03, 表明其综合影响力高于全球平均水平, 其中嫦娥五号与嫦娥四号任务贡献显著.

嫦娥工程产出的高影响力论文 (CNCI 值为 2.61) 共计 181 篇, 其中嫦娥五号占比 43.6% (79 篇), 嫦娥四号占比 30.9% (56 篇), 其余三次任务的论文产出明显较少 (见图 7). 时序分析表明, 高影响力论文数量与任务实施进度呈正相关, 尤其在嫦娥四号 (实现人类首次月球背面着陆探测) 和嫦娥五号 (完成中国首次地外采样返回) 任务后, 产出的高影响力论文数量呈现显著增长 (见图 8).

研究表明, 嫦娥系列任务中, 嫦娥五号在科研成果产出的质量与数量上均表现突出. 基于月球样品的研究成果, 进一步印证了地外样品对月球科学研究的重大价值.

4 嫦娥工程与中国月球科学研究的影响力分析

嫦娥任务研究成果共涉及 62 个 WoS 学科类别, 发表在 187 种 SCI 期刊上, 体现了显著的学科交叉特征. 研究数据显示, 共有 32 个国家或地区、608 个科研机构的 3526 名学者参与了相关研究, 国际合作和机构间合作较为紧密. 这里采用文献计量方法, 对嫦娥工程的学术影响力和科研贡献进行定量分析.

4.1 嫦娥工程对中国月球科学研究的贡献

分析聚焦中国月球科学领域的产出, 统计范围限

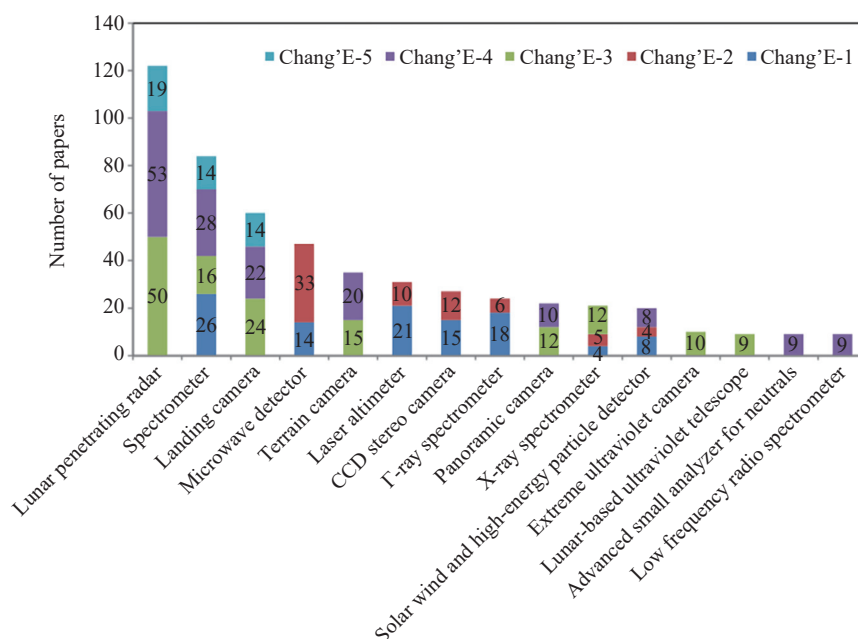


图 6 嫦娥工程各科学载荷产出论文情况

Fig. 6 Status of paper outputs of each scientific payload of the Chang'E Project

表 11 嫦娥工程各次任务产出论文情况

Table 11 Status of paper outputs by each mission of the Chang'E Project

文献计量评价指标	嫦娥一号	嫦娥二号	嫦娥三号	嫦娥四号	嫦娥五号	嫦娥工程
SCI 论文数/篇	166	146	169	179	284	1023
<i>Nature</i> 和 <i>Science</i> 及其子刊/篇	1	1	4	15	32	56
Nature Index 期刊论文/篇	8	7	18	51	66	161
Q1 期刊论文/篇(JCR分区)	33	64	45	106	150	404
Q1 期刊论文占比/(%)	19.88	43.84	26.63	59.22	52.82	39.49
CNCI值	0.47	0.49	0.88	1.1	1.68	1.03
ESI高被引论文/篇	0	0	0	0	9	10
H-Index	26	22	31	28	34	53
被引总次数	2529	1547	3328	2862	4183	15454
篇均被引次数	15.23	10.6	19.69	15.99	14.73	15.11
施引论文/篇	1495	839	1543	1209	1544	5917
篇均施引论文/篇	9	5.7	9.1	6.8	5.44	5.78
国际合作论文数/篇	34	34	36	57	62	234
国际合作论文百分比/(%)	20.48	23.29	21.3	31.84	21.83	22.87

注 检索时间截至2024年12月27日。

定为必须有中国学者参与的研究。需要说明的是, 图 9 中的“其他”类别指中国月球科学领域内与嫦娥工程无关的研究。在数据分类过程中, 严格区分了与嫦娥工程相关和无关的研究, 避免重复统计。

从图 9 可以看出, 在 2007 年嫦娥一号任务发射前, 嫦娥工程相关研究占比较低。随着嫦娥系列任务的相继实施, 相关研究成果呈现稳步增长态势, 特别是在嫦娥五号任务后增长显著。从贡献占比来看, 嫦

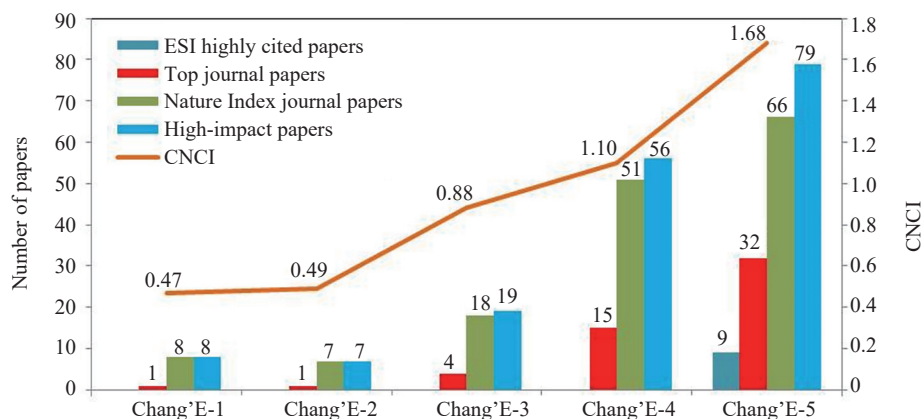


图 7 嫦娥工程各次任务发文情况

Fig. 7 Status of published papers by each mission of the Chang'E Project

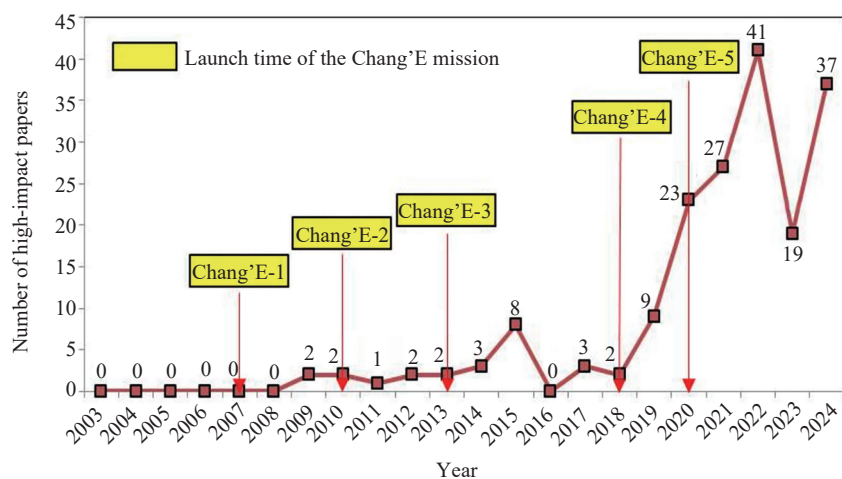


图 8 2003—2024 年嫦娥工程产出高影响力论文数量逐年演变趋势

Fig. 8 Annual evolutionary trend in the number of high-impact papers produced by the Chang'E Project from 2003 to 2024

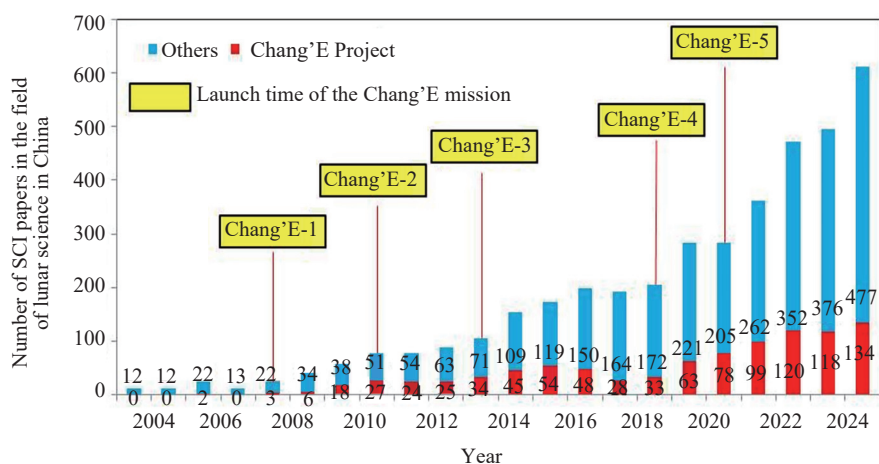


图 9 2003—2024 年中国月球科学产出 SCI 论文数量逐年演变趋势

Fig. 9 Annual evolutionary trend in the number of SCI papers in Chinese lunar science from 2003 to 2024

娥工程相关研究在中国月球科学领域的占比在2010年达到峰值34.6%后回落,而在嫦娥四号和嫦娥五号任务后再次呈现明显增长,2020年达到新的高峰,详见图10(黄色方框和红色箭头标注嫦娥任务发射时间).从研究质量维度分析,嫦娥工程对中国月球科学领域研究的引领作用尤为显著(见表12).

4.2 中国对国际月球科学发展的影响

根据国际月球科学领域基础数据集显示,2004年以前国际月球科学领域共发表SCI论文12059篇,其中中国贡献91篇,占比0.75%,排名全球第15位;2004年以来,该领域发文量增至22010篇,其中中国发文3946篇,占比提升至17.93%,排名跃居全球第2位.

基于文献计量方法,对1979—2024年间中国对国际月球科学领域的科研产出进行了系统分析(见

图11).数据显示,中国在该领域的科研活动始于1979年,但在2006年前发文量相对有限.随着嫦娥一号任务的实施,中国在该领域的科研产出呈现持续增长态势,至2024年达到年度发文量611篇的历史峰值.从国际占比来看,2006年后,中国在国际月球科学领域的发文占比呈显著上升趋势,从2007年不到5%,到2024年达到32.6%(见图12),这一发展态势与嫦娥工程的实施进程呈现出一定相关性.

5 嫦娥工程主要科学贡献

采用文献计量方法,将嫦娥工程在*Nature*和*Science*正刊及子刊发表的论文、*Nature Index*期刊论文以及ESI高被引论文等界定为高影响力科研成果.基于各次任务的相关高影响力论文,选择其中有

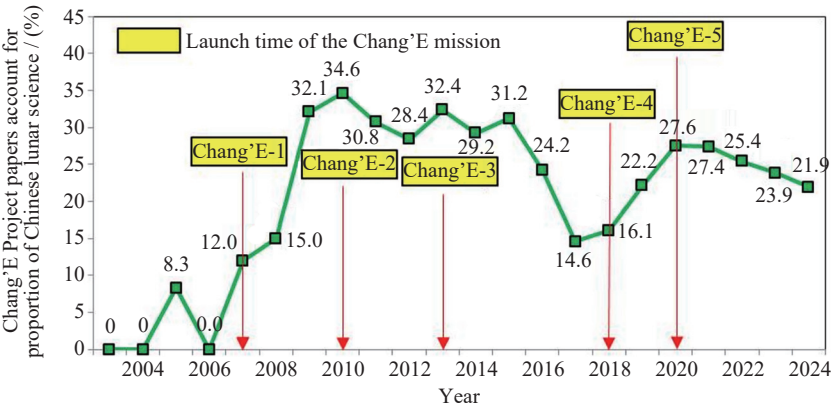


图10 2003—2024年嫦娥工程发文占中国月球科学论文比例逐年演变趋势

Fig. 10 Annual evolutionary trend of the proportion of the Chang'E Project publications in China's lunar science from 2003 to 2024

表12 月球科学领域中国产出的高水平论文情况

Table 12 Status of high-level papers in the field of lunar science in China

	中国月球科学/篇	嫦娥工程/篇 (中国作者参与发文)	其他/篇	嫦娥工程发文占 中国月球科学比例/(%)
<i>Nature</i>	10	4	6	40
<i>Science</i>	4	4	0	100
<i>Nature</i> 和 <i>Science</i> 子刊	73	39	34	53.4
<i>Nature Index</i> 期刊	400	138	262	34.5
ESI高被引论文	21	10	11	47.6
高影响力论文	433	167	266	38.6

注 数据检索时间为2024年12月.

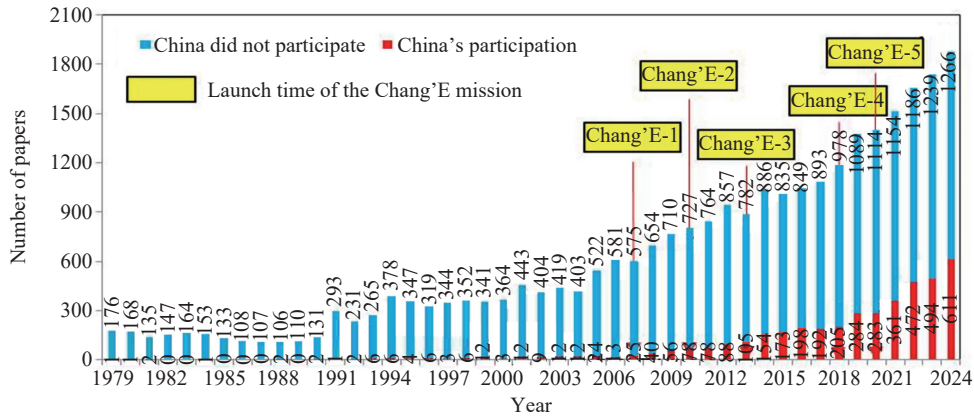


图 11 1979—2024 年中国对国际月球科学发文贡献逐年演变趋势

Fig. 11 Annual evolutionary trend of China's contribution to international lunar science publications from 1979 to 2024

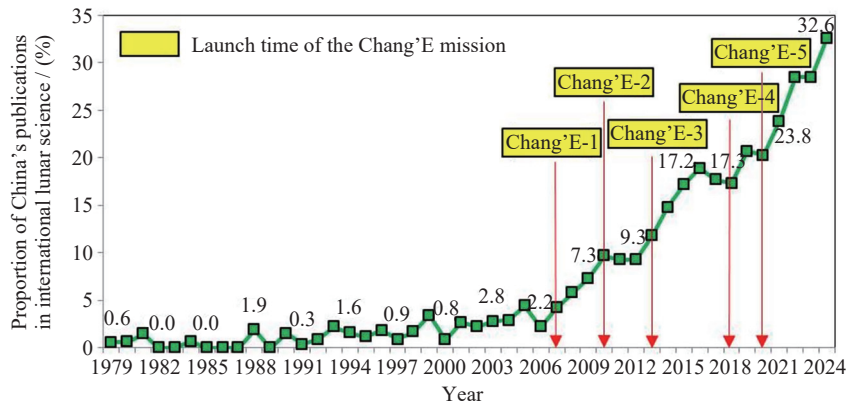


图 12 1979—2024 年中国占国际月球科学发文比例逐年演变趋势

Fig. 12 Annual evolutionary trend of the proportion of China's publications in international lunar science from 1979 to 2024

代表性的总结中国嫦娥工程的主要科学贡献。

嫦娥一号任务在月表形貌、物质成分、微波特性及空间环境等方面取得系列研究成果。任务搭载的 CCD 立体相机和激光高度计首次实现了月球表面全覆盖影像获取,并制作了高精度全月数字高程模型和三维地形图^[5],伽马射线谱仪成功获取了铀、钍、钾等元素的全月球分布数据^[18],以及镁、铝、硅、铁、钛等元素的区域分布数据^[19],微波探测仪首次采用被动微波遥感技术测量月表亮温,反演了月壤厚度和氦-3 的资源分布^[20]。

嫦娥二号任务在月球形貌、元素分布、空间环境及深空探测等方面取得丰硕成果,为后续任务奠定了重要基础^[5,7],搭载的 CCD 立体相机获取了分辨率优

于 7 m 的月表影像数据^[21],通过伽马射线谱仪和 X 射线谱仪进一步探测了月球表面元素的分布,特别是铀、钍、钾等元素的含量^[22],高能粒子探测器和太阳风离子探测器对月球轨道空间环境进行了探测,获取了太阳风与月球相互作用的数据^[23]。在完成既定月球探测任务后,探测器成功飞往日地拉格朗日 L2 点,并实现对图塔蒂斯小行星 (4179 Toutatis) 的飞跃探测,获取了小行星的高分辨率影像^[24]。最近,基于嫦娥二号的微波数据,提出了月球可能存在花岗岩岩体的新发现^[25]。

嫦娥三号任务实现了中国首次月球软着陆,在月球地形、地质结构、新型岩石发现及月基天文观测等领域取得了多项重要科学成果。探月雷达 (LPR) 首

次实现月球浅表层地质结构的高分辨率探测,揭示了月球表面风化层的厚度(约4~6 m)及深达330 m的玄武岩层结构^[26,27].利用粒子激发X射线谱仪发现了一种富含钛铁矿的新型玄武岩,为研究月球地质演化提供了新的线索^[28].搭载的月基光学望远镜首次在月球表面进行了天文观测,为研究地球等离子体层和宇宙射线提供了独特的数据^[7].

嫦娥四号任务成功实现了人类历史上首次月球背面软着陆,在月球背面地形、地质结构、月壤热物理性质等方面取得了多项重要科学成果.利用搭载的光谱仪获得月球背面南极艾特肯盆地的岩石矿物组成^[29-31],推测很可能代表了月幔岩石^[29]或南极艾肯盆地撞击的熔融池产物^[31].探月雷达(LPR)对月球背面浅表层地质结构进行了高分辨率探测,揭示了月球背面风化层的厚度及深部地质结构^[32-34],对月球背面月壤的热物理性质进行了就位测量,发现月壤具有极低的热导率^[35].

嫦娥五号任务作为自1976年以来人类首次从月球采样返回任务,标志着中国成为继美国和苏联之后第三个实现月球采样返回的国家.该任务产出了79篇高影响力论文,其中包括9篇ESI高被引论文(占嫦娥工程全部10篇ESI高被引论文的90%).相关研究成果主要涵盖着陆区物质组成与来源、月壤样品物理化学性质、月壤资源利用、年轻月海玄武岩年代学与成因、月表撞击过程与撞击历史、太空风化作用与机制等方向^[9,10].嫦娥五号样品分析揭示了一系列重要科学发现.首先,样品中包含约20亿年前的年轻玄武岩,这是迄今为止发现的最年轻的月球玄武岩,这一发现不仅证实了月球在20亿年前仍存在火山活动^[36,37],且火山喷发规模不小^[38],并且发现这种年轻火山活动并不富含KREEP物质^[39],也不富水^[40].此外,这次火山活动还记录了20亿年前月球微弱的磁场信息^[41].最新的研究还发现嫦娥五号样品中存在1.2亿年前的火山玻璃,表明月球在1.2亿年前仍存在小规模火山活动,颠覆了月球火山活动在10亿年前停止的传统认知^[42].另外,嫦娥五号玄武岩也记录了月球表面的撞击和太空风化过程,其中存在一些从其他区域撞击溅射过来的岩屑和玻璃^[43-45];月壤颗粒表面也记录了太阳风来源的水^[46-49],并且发现了太空风化作用形成的三价铁^[50-52].

从工程实施层面看,中国嫦娥探月工程实现了

“绕、落、回”三步走,从科学成果方面,“绕、落、回”三个阶段取得的科学成果持续增加,重要发现不断涌现,参与研究的科研队伍也日益壮大.这表明,从环绕探测的远观,到着陆探测的触碰,再到样品返回后的实验室研究,所采用的技术手段、分析能力和精度均在逐步提高.尤其是通过样品返回任务,可以充分利用地面实验室的先进分析技术^[53,54],为取得原创性科研成果提供重要支撑.

6 结论与展望

基于文献计量学方法系统分析了嫦娥工程的科研产出及其国际影响力,揭示了其在月球科学领域的重要贡献.研究表明,嫦娥工程不仅推动了中国航天科技的跨越式发展,也为全球月球科学研究提供了丰富的数据与理论支撑,形成了覆盖基础研究到前沿探索的完整科研链条.

6.1 主要研究结论

(1) 科研影响力持续提升.基于本文构建的国际月球科学领域基础数据集,嫦娥工程共产出1023篇SCI成果论文,引文网络覆盖93个国家/地区的3440个科研机构,形成了广泛的国际学术影响.中国在国际月球科学领域的发文占比呈稳步增长,2024年达到32.6%的历史峰值.值得注意的是,非中国机构施引文献占比显著增加,德国、美国、英国成为主要合作国家,表明嫦娥工程的科研成果正深度融入国际月球研究体系,影响力日益增强.

(2) 重大科学发现不断涌现.嫦娥四号和嫦娥五号任务的实施推动了论文产出的快速增长,并催生了一批具有国际影响力的原创成果.其中嫦娥五号相关研究的发文量居于首位,嫦娥四号次之,二者在高影响力论文、顶级期刊论文、Nature Index期刊论文、影响因子、CNCI值及ESI高被引论文等指标上表现突出.嫦娥五号样品研究提出的20亿年玄武岩年代标尺入选2021年度中国科学十大进展,其建立的年轻玄武岩成因模型正在推动国际学术界重塑月球热演化理论框架.

(3) 研究队伍持续壮大.嫦娥工程实施过程中,中国已建立了一支结构合理、专业覆盖全面的月球科学研究队伍.统计显示,相关研究涉及32个国家或地区、608个机构的3526名学者,产出的1023篇SCI

论文被 93 个国家或地区、3440 个机构的 20565 名学者引用。国际合作网络分析表明, 参与机构数量呈指数增长, 逐步形成多学科交叉融合的研究梯队, 为后续深空探测任务提供了坚实的支撑。

6.2 展望

未来嫦娥工程将继续拓展人类对月球的认知边界。嫦娥六号任务于 2024 年成功获取了月球背面南极艾特肯盆地的样品, 着陆区位于玄武岩单元, 其研究成果有望为理解月球南极艾特肯盆地的形成机制、月球背面深部物质组成及火山活动和热演化历史等重要科学问题提供关键证据^[55-60]。初步分析表明, 样品包含本地玄武岩物质及外来溅射物^[61]。针对玄武岩的定年, 结果显示, 其形成于 28 亿年前^[62,63], 起源于非常贫水与亏损的月幔^[64,65], 并揭示该时期月球磁场可能存在增强现象^[66]。随着研究的深入, 预计将在相关领域获得更多突破性发现。

在后续任务规划中, 嫦娥七号任务计划于 2026 年发射, 将对月球南极沙克尔顿撞击坑及周边区域开展多维度探测, 任务搭载的 18 台/套科学载荷将开展多项创新性实验, 例如首次在月球南极部署地震仪, 利用飞跃探测器对永久阴影区进行就位探测等^[67]。这些探测数据有望为月球内部结构与物理性质、月球水及挥发分的分布与来源等研究提供新的科学支撑。嫦娥八号任务 (预计 2029 年前后发射) 将在相近区域开展技术验证与科学探测, 重点验证月球原位资源利用等关键技术, 其获取的科学信息将与嫦娥七号的探测结果形成数据联动, 共同服务于国际月球科研站 (ILRS) 的建设。

值得关注的是, 中国已正式启动载人月球探测工程, 计划在 2030 年前实现航天员登陆月球并开展月面科考, 这将与嫦娥系列无人探测任务形成协同互补, 共同推动月球科学研究迈向新阶段。作为未来深空探测的重要基础设施, 中国正与多国合作推进国际月球科研站 (ILRS) 建设计划, 通过整合轨道与月面资源, 将构建具备能源供给、通信中继及协同探测能力的可持续月球科研平台, 支撑可持续的月球探测与利用。

在这一背景下, 本文研究建立的文献计量框架可扩展应用于后续深空探测任务的科研效益预评估, 但在实际应用中需考虑工程实施周期与论文产出滞后的时间校准问题。未来研究可结合月球探测系列任务的新进展, 进一步完善影响评估体系, 加强任务间的

数据关联分析, 并建立动态检测机制, 实时追踪领域新兴研究方向, 从而更准确地评估嫦娥系列任务对国际月球科学研究的长远影响。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

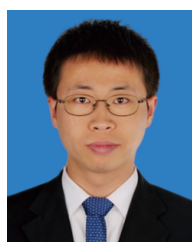
参考文献

- [1] CARLSON R W. Robotic sample return reveals lunar secrets[J]. *Nature*, 2021, **600**(7887): 39-40
- [2] MALLAPATY S. China's first Moon rocks ignite research bonanza[J]. *Nature*, 2022, **603**(7902): 561-562
- [3] LE H J, RONG Z J, WEI Y. Exploring the universe and protecting the Earth: young Chinese scientists in action[J]. *The Innovation*, 2023, **4**(4): 100466
- [4] LIN Yangting. Key issues of the formation and evolution of the Moon[J]. *Geochimica*, 2010, **39**(1): 1-10 (林杨挺. 月球形成和演化的关键科学问题 [J]. 地球化学, 2010, **39**(1): 1-10)
- [5] LIU Jianzhong, OUYANG Ziyuan, LI Chunlai, et al. China national moon exploration progress (2001-2010)[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2013, **32**(5): 544-551 (刘建忠, 欧阳自远, 李春来, 等. 中国月球探测进展 (2001-2010 年)[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, **32**(5): 544-551)
- [6] LI C L, WANG C, WEI Y, et al. China's present and future lunar exploration program[J]. *Science*, 2019, **365**(6450): 238-239
- [7] LI Chunlai, LIU Jianjun, ZUO Wei, et al. Progress of China's lunar exploration (2011-2020)[J]. *Chinese Journal of Space Science*, 2021, **41**(1): 68-75 (李春来, 刘建军, 左维, 等. 中国月球探测进展 (2011-2020 年)[J]. 空间科学学报, 2021, **41**(1): 68-75)
- [8] YANG W, LIN Y T. New lunar samples returned by Chang'E-5: opportunities for new discoveries and international collaboration[J]. *The Innovation*, 2021, **2**(1): 100070
- [9] CHEN Y, HU S, LI J H, et al. Chang'E-5 lunar samples shed new light on the Moon[J]. *The Innovation Geoscience*, 2023, **1**(1): 100014
- [10] WU F Y, LI Q L, CHEN Y, et al. Lunar evolution in light of the Chang'E-5 returned samples[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2024, **52**: 159-194
- [11] DING Jielan, GUO Yue, LONG Yixuan, et al. Research trends of resource and environment management: a bibliometric analysis based on WoS publications[J]. *Science Focus*, 2021, **16**(2): 1-24
- [12] REN Shengli, HU Sufang, LIU Yahui, et al. Output and impact of geochemical articles authored by Chinese researchers from 2000 to 2021: statistical analysis based on SCI database[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, **39**(1): 249-262 (任胜利, 胡素芳, 刘亚辉, 等. 2000-2021 年我国地球化学研究论文的产出与影响: 基于 SCI 数据库的统计分析 [J]. 岩石学报, 2023, **39**(1): 249-262)
- [13] ZHANG Tengfei, WANG Yanhai, YANG Wei, et al. Frontiers in lunar science based on bibliometric analysis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, **39**(10): 3169-3183 (张腾飞, 王燕

- 海, 杨蔚, 等. 基于文献计量的月球科学前沿研判 [J]. 岩石学报, 2023, **39**(10): 3169-3183
- [14] QIU Jumping. Bibliometrics[M]. 2nd ed. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd, 2019
- [15] GAO Junkuan. Application of bibliometrics methods in scientific evaluation[J]. *Documentation, Information & Knowledge*, 2005(2): 14-17 (高俊宽. 文献计量学方法在科学评价中的应用探讨 [J]. 图书情报知识, 2005(2): 14-17)
- [16] ZHANG Juan. The analysis of literature output and citation impact of Guangdong province natural science foundation[J]. *Science and Technology Management Research*, 2018, **38**(6): 251-257 (张娟. 广东省自然科学基金项目的论文产出与影响力分析 [J]. 科技管理研究, 2018, **38**(6): 251-257)
- [17] SUN Jianhong, YUE Shuangshuang, XU Jianzhong. Research and application progress of inorganic flame retardants in China and abroad[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2019, **51**(2): 1-7 (孙建红, 岳双双, 徐建中. 国内外无机阻燃剂的研究与应用进展 [J]. 无机盐工业, 2019, **51**(2): 1-7)
- [18] ZOU Y L, ZHANG L Y, LIU J Z, *et al.* Data analysis of Chang'E-1 gamma-ray spectrometer and global distribution of U, K, and Th elemental abundances[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2011, **85**(6): 1299-1309
- [19] WU Y Z. Major elements and Mg# of the moon: results from Chang'E-1 interference imaging spectrometer (IIM) data[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2012, **93**: 214-234
- [20] JIANG Jingshan, WANG Zhenzhan, LI Yun. Study on theory and application of CE-1 microwave sounding lunar surface[J]. *Strategic Study of CAE*, 2008, **10**(6): 16-22 (姜景山, 王振占, 李芸. 嫦娥 1 号卫星微波探月技术机理和应用研究 [J]. 中国工程科学, 2008, **10**(6): 16-22)
- [21] Editorial Committee of the Chang'E-2 High-Resolution Lunar Imagery Atlas. Chang'E-2 High-Resolution Lunar Image Gallery[M]. Beijing: SinoMap Press, 2012
- [22] ZHU M H, CHANG J, XIE M G, *et al.* The uniform K distribution of the mare deposits in the Orientale Basin: insights from Chang'E-2 gamma-ray spectrometer[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2015, **418**: 172-180
- [23] WANG X Q, CUI J, WANG X D, *et al.* The Solar Wind interactions with Lunar Magnetic Anomalies: a case study of the Chang'E-2 plasma data near the Serenitatis antipode[J]. *Advances in Space Research*, 2012, **50**(12): 1600-1606
- [24] ZHU M H, FA W Z, IP W H, *et al.* Morphology of asteroid (4179) Toutatis as imaged by Chang'E-2 spacecraft[J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, **41**(2): 328-333
- [25] SIEGLER M A, FENG J Q, LEHMAN-FRANCO K, *et al.* Remote detection of a lunar granitic batholith at Compton-Belkovich[J]. *Nature*, 2023, **620**(7972): 116-121
- [26] XIAO L, ZHU P M, FANG G Y, *et al.* A young multilayered terrane of the northern Mare Imbrium revealed by Chang'E-3 mission[J]. *Science*, 2015, **347**(6227): 1226-1229
- [27] ZHANG J H, YANG W, HU S, *et al.* Volcanic history of the Imbrium basin: a close-up view from the lunar rover Yutu[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, **112**(17): 5342-5347
- [28] LING Z C, JOLLIFF B L, WANG A L, *et al.* Correlated compositional and mineralogical investigations at the Chang'E-3 landing site[J]. *Nature Communications*, 2015, **6**: 8880
- [29] LI C L, LIU D W, LIU B, *et al.* Chang'E-4 initial spectroscopic identification of lunar far-side mantle-derived materials[J]. *Nature*, 2019, **569**(7756): 378-382
- [30] GOU S, YUE Z Y, DI K C, *et al.* In situ spectral measurements of space weathering by Chang'E-4 rover[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2020, **535**: 116117
- [31] LIN H L, HE Z P, YANG W, *et al.* Olivine-norite rock detected by the lunar rover Yutu-2 likely crystallized from the SPA-impact melt pool[J]. *National Science Review*, 2020, **7**(5): 913-920
- [32] LI C L, SU Y, PETTINELLI E, *et al.* The Moon's farside shallow subsurface structure unveiled by Chang'E-4 Lunar Penetrating Radar[J]. *Science Advances*, 2020, **6**(9): eaay-6898
- [33] LAI J L, XU Y, BUGIOLACCHI R, *et al.* First look by the Yutu-2 rover at the deep subsurface structure at the lunar farside[J]. *Nature Communications*, 2020, **11**(1): 3426
- [34] ZHANG J H, ZHOU B, LIN Y T, *et al.* Lunar regolith and substructure at Chang'E-4 landing site in South Pole-Aitken basin[J]. *Nature Astronomy*, 2021, **5**(1): 25-30
- [35] XIAO X, YU S R, HUANG J, *et al.* Thermophysical properties of the regolith on the lunar far side revealed by the *in situ* temperature probing of the Chang'E-4 mission[J]. *National Science Review*, 2022, **9**(11): nwac175
- [36] CHE X C, NEMCHIN A, LIU D Y, *et al.* Age and composition of young basalts on the Moon, measured from samples returned by Chang'E-5[J]. *Science*, 2021, **374**(6569): 887-890
- [37] LI Q L, ZHOU Q, LIU Y, *et al.* Two-billion-year-old volcanism on the Moon from Chang'E-5 basalts[J]. *Nature*, 2021, **600**(7887): 54-58
- [38] TIAN H C, ZHANG C, YANG W, *et al.* Surges in volcanic activity on the Moon about two billion years ago[J]. *Nature Communications*, 2023, **14**(1): 3734
- [39] TIAN H C, WANG H, CHEN Y, *et al.* Non-KREEP origin for Chang'E-5 basalts in the procellarum KREEP terrane[J]. *Nature*, 2021, **600**(7887): 59-63
- [40] HU S, HE H C, JI J L, *et al.* A dry lunar mantle reservoir for young mare basalts of Chang'E-5[J]. *Nature*, 2021, **600**(7887): 49-53
- [41] CAI S H, QIN H F, WANG H P, *et al.* Persistent but weak magnetic field at the Moon's midstage revealed by Chang'E-5 basalt[J]. *Science Advances*, 2025, **11**(1): eadp3333
- [42] WANG B W, ZHANG Q W L, CHEN Y, *et al.* Returned samples indicate volcanism on the Moon 120 million years ago[J]. *Science*, 2024, **385**(6713): 1077-1080
- [43] ZENG X J, LI X Y, LIU J Z. Exotic clasts in Chang'E-5 regolith indicative of unexplored terrane on the Moon[J]. *Nature Astronomy*, 2023, **7**(2): 152-159
- [44] YANG W, CHEN Y, WANG H, *et al.* Geochemistry of impact glasses in the Chang'E-5 regolith: constraints on impact melting and the petrogenesis of local basalt[J].

- Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2022, **335**: 183-196
- [45] LONG T, QIAN Y Q, NORMAN M D, *et al.* Constraining the formation and transport of lunar impact glasses using the ages and chemical compositions of Chang'E-5 glass beads[J]. *Science Advances*, 2022, **8**(39): eabq2542
- [46] ZHOU C J, TANG H, LI X Y, *et al.* Chang'E-5 samples reveal high water content in lunar minerals[J]. *Nature Communications*, 2022, **13**(1): 5336
- [47] XU Y C, TIAN H C, ZHANG C, *et al.* High abundance of solar wind-derived water in lunar soils from the middle latitude[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2022, **119**(51): e2214395119
- [48] HE H C, JI J L, ZHANG Y, *et al.* A solar wind-derived water reservoir on the Moon hosted by impact glass beads[J]. *Nature Geoscience*, 2023, **16**(4): 294-300
- [49] ZHOU C J, MO B, TANG H, *et al.* Multiple sources of water preserved in impact glasses from Chang'E-5 lunar soil[J]. *Science Advances*, 2024, **10**(19): eadl2413
- [50] LI C, GUO Z, LI Y, *et al.* Impact-driven disproportionation origin of nanophase iron particles in Chang'E-5 lunar soil sample[J]. *Nature Astronomy*, 2022, **6**(10): 1156-1162
- [51] GUO Z, LI C, LI Y, *et al.* Sub-microscopic magnetite and metallic iron particles formed by eutectic reaction in Chang'E-5 lunar soil[J]. *Nature Communications*, 2022, **13**(1): 7177
- [52] XIAN H Y, ZHU J X, YANG Y P, *et al.* Ubiquitous and progressively increasing ferric iron content on the lunar surfaces revealed by the Chang'E-5 sample[J]. *Nature Astronomy*, 2023, **7**(3): 280-286
- [53] LI J H, YANG W, LI X Y, *et al.* The Chang'E-5 lunar samples stimulate the development of microanalysis techniques[J]. *Atomic Spectroscopy*, 2022, **43**(1): 1-5
- [54] YANG W, LI J H, LI X Y, *et al.* Microanalysis techniques guarantee long-term research on Chang'E-5 lunar samples[J]. *Atomic Spectroscopy*, 2022, **43**(4): 266-271
- [55] ZENG X G, LIU D W, CHEN Y, *et al.* Landing site of the Chang'E-6 lunar farside sample return mission from the Apollo basin[J]. *Nature Astronomy*, 2023, **7**(10): 1188-1197
- [56] QIAN Y Q, HEAD J, MICHALSKI J, *et al.* Long-lasting farside volcanism in the Apollo basin: Chang'E-6 landing site[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2024, **637**: 118737
- [57] YANG W, HE Y Y, QIAN Y Q, *et al.* Scientists eager for Chang'E-6 lunar farside samples to bring new discoveries[J]. *The Innovation*, 2024, **5**(5): 100660
- [58] YUE Z Y, GOU S, SUN S J, *et al.* Geological context of the Chang'E-6 landing area and implications for sample analysis[J]. *The Innovation*, 2024, **5**(5): 100663
- [59] GUO D J, BAO Y M, LIU Y, *et al.* Geological investigation of the lunar Apollo basin: from surface composition to interior structure[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2024, **646**: 118986
- [60] JIA Z Y, CHEN J, KONG J Q, *et al.* Geologic context of Chang'E-6 candidate landing regions and potential non-mare materials in the returned samples[J]. *Icarus*, 2024, **416**: 116107
- [61] LI C L, HU H, YANG M F, *et al.* Nature of the lunar farside samples returned by the Chang'E-6 mission[J]. *National Science Review*, 2024, **11**(11): nwae328
- [62] ZHANG Q W L, YANG M H, LI Q L, *et al.* Lunar farside volcanism 2.8 billion years ago from Chang'E-6 basalts[J]. *Nature*, 2025, **643**(8071): 356-360
- [63] CUI Z X, YANG Q, ZHANG Y Q, *et al.* A sample of the Moon's far side retrieved by Chang'E-6 contains 2.83-billion-year-old basalt[J]. *Science*, 2024, **386**(6728): 1395-1399
- [64] HE H C, LI L X, HU S, *et al.* Water abundance in the lunar farside mantle[J]. *Nature*, 2025, **643**(8071): 366-370
- [65] ZHOU Q, YANG W, CHU Z Y, *et al.* Ultra-depleted mantle source of basalts from the South Pole-Aitken basin[J]. *Nature*, 2025, **643**(8071): 371-375
- [66] CAI S H, QI K X, YANG S H, *et al.* A reinforced lunar dynamo recorded by Chang'E-6 farside basalt[J]. *Nature*, 2025, **643**(8071): 361-365
- [67] WANG C, JIA Y Z, XUE C B, *et al.* Scientific objectives and payload configuration of the Chang'E-7 mission[J]. *National Science Review*, 2024, **11**(2): nwad329

作者简介



张腾飞 男, 1988年4月出生于山西省晋城市, 硕士, 现为中国科学院地质与地球物理研究所馆员, 主要从事文献情报研究工作。
E-mail: zhangtf@mail.iggcas.ac.cn



徐琳 (通信作者) 女, 1972年出生, 博士, 正高级工程师, 就职于中国科学院月球与深空探测总体部/国家空间科学中心, 研究方向为陨石学、月球与行星科学, 以及月球与深空探测方面的战略研究。
E-mail: xulin@nssc.ac.cn



杨蔚 (通信作者) 男, 1981年出生, 博士, 现为中国科学院地质与地球物理研究所研究员, 研究方向为行星化学和离子探针分析技术等。
E-mail: yangw@mail.iggcas.ac.cn



王燕海 (通信作者) 女, 1969年8月出生于北京市, 现为中国科学院地质与地球物理研究所科技平台处副研究馆员, 主要从事所图书馆日常管理工作, 为科研一线人员提供支撑服务。
E-mail: yanhai_wang@mail.iggcas.ac.cn