科学通报 2026 年 第 71 卷 第 22 期: 5249 ~ 5258
国家自然科学基金委员会地球科学部资助体系布局研究专题 观 点
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

地质学资助体系布局研究

徐义刚[1], 周忠和[2], 张仲石[3], 万博[4], 郑袁明[5*]

1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640
2. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044
3. 北京大学物理学院大气与海洋科学系, 北京 100871
4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029
5. 国家自然科学基金委地球科学部, 北京 100085
* 联系人, E-mail: zhengym@nsfc.gov.cn

1 学科发展简史

现代地质学是一个多学科综合的科学领域, 主要研究地球(包括行星)的物质组成、结构构造、形成与演化过程及其动力学, 经历了早期探索到现代理论技术完善的过程. 地质学的发展历史悠久[1], 这里我们仅将现代地质学大致划分为以下几个阶段.

现代地质学的奠基(18~19世纪初): 18世纪末, 詹姆斯·赫顿(James Hutton)提出了“地球是一个动态系统”的观点, 强调了岩石的循环和变化, 被认为是现代地质学的奠基人[2]. 19世纪初, 查尔斯·莱伊尔(Charles Lyell)进一步发展了赫顿的思想, 提出了“现在是过去的钥匙”的原则, 强调地质过程缓慢而持续的性质[3].

地质学的分类与系统化(19世纪): 通过对矿物和岩石的研究, 地质学逐渐发展为一个更加系统的科学领域. 基于地层和古生物研究, 人们开始建立地层序列并认识到生物在地史中的演化. 威廉·史密斯(William Smith)构建了化石层序律[4].

板块构造理论与天文周期理论的提出(20世纪): 20世纪初, 阿尔弗雷德·魏格纳(Alfred Wegener)提出了大陆漂移假说[5]. 20世纪中叶, 哈里·赫斯(Harry Hess)[6]提出的海底扩张假说迅速被海底磁异常条带的发现证实[7]. 随后转换断层的发现以及大西洋开-合假说的提出进一步促进了板块构造理论的诞生[8,9]. 最终在1967~1968年, 集成上述科学发现以及活动论思想精髓的集大成理论, 板块构造理论诞生[10~12], 推动了地质学的革命性发展, 成为现代地球科学的理论支柱. 米兰科维奇理论, 从萌芽[13~15]到初创[16], 并在20世纪70年代被验证[17,18], 成为解释地球长期气候变化的革命性理论和地球环境科学的基石.

现代地质学的多学科交叉和地球系统科学思想的发展



郑袁明 国家自然科学基金委员会地球科学部二处处长、研究员, 主要从事地质学、地球化学等自然科学基金的管理工作.

(20世纪末~至今): 随着科技的发展, 数学、物理、化学等方法被广泛应用于地质学研究, 多学科交叉日趋深入, 促进了学科发展与新的分支学科形成(图1). 地质学是持续推动地球系统科学发展的核心.

地质学对人类文明发展作出了杰出的贡献[20]. 徐义刚[20]系统梳理了地球科学对人类文明的贡献. 他列举了多个地球科学改变世界的故事, 其中有些直接与地质学科有关, 如没有地质学就没有进化论, 没有地质学就没有现代工业体系, 没有地质学就没有改变世界的板块构造学说等.

20世纪以来, 中国的地质学从无到有、迅速发展. 中国学者提出了陆相生油和中国特色成煤理论、大陆深俯冲、克拉通破坏、中亚型地壳生长、碰撞成矿等重要学术思想, 发展了板块构造理论; 建立了十一个全球年代地层单位界线层型剖面(即“金钉子”)、开发出继深海沉积和冰芯之后第三个全球变化记录和研究标准——黄土, 在沉积与古环境地质学方面积累了新的关键证据; 发现了澄江、热河等著名生物群, 为早期生命演化、鸟类起源提供了关键证据; 找到了大庆油田、攀枝花钒钛磁铁矿、白云鄂博超大型稀土矿、南方离子吸附型中稀土矿、西藏铜多金属矿等一大批战略资

引用格式: 徐义刚, 周忠和, 张仲石, 等. 地质学资助体系布局研究. 科学通报, 2026, 71: 5249–5258
Xu Y, Zhou Z, Zhang Z, et al. Toward a strategic framework for geology science funding (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 5249–5258, doi: 10.1360/CSB-2025-5723

© 2026《中国科学》杂志社



图 1 地质学与其他学科交叉衍生出新的学科领域(据Holmes[19]修改)

Figure 1 New disciplines emerging from convergence of Geology and other fields (modified after Holmes[19])

源; 解决了系列水文与工程地质难题, 保障了三峡工程、南水北调、青藏铁路、大亚湾核电站等国家超级工程的地质安全. 中国的地质学支撑了国家经济建设和社会进步, 为世界科学作出了重要贡献.

2 学科发展态势及社会需求

随着自然科学的不断发展, 学科交叉已经成为自然科学研究的主旋律, 但地质学交叉合作却日益减少, 与社会的沟通能力也在逐步减弱. 1900~1993年, 自然科学学科数量从57个增加到251个. 学科越来越细化, 分工越来越明确. 但地球与空间科学的自引律高达72%[21], 地质学逐渐成为"学科孤岛"(图2).

随着社会经济的不断发展, 地质学科面临着国家需求和学科前沿探索提出的新要求. 国家需求驱动着地质学在解决资源供应、能源安全、地质灾害防控等重大实际问题上发挥作用; 前沿探索驱动着地质学深入认识地球构造、物质循环、圈层相互作用等, 拓展对地球系统运行机制和宜居地球演变的认知, 推动学科进步.

国家需求方面, 我国面临着矿产资源短缺、能源对外依存度不断攀升、地质灾害风险加剧等困难和挑战. (1) 我国是全球矿产资源第一消费大国, 但国内供应能力已严重不足, 尤其是支撑战略性新兴产业发展的锂、钴、铌、锆、铪、铜、铝等关键矿产[22]. 目前, 我国铁、铜、锂、钴等36种矿产消费量位居全球第一, 30种矿产长期依赖进口(近一半矿种对外依存度超过50%)[23]; 且短期内这种形势不会改变, 安全保供压力大. 因此, 矿产资源增储上产依赖科技攻关, 是保障国家矿产资源供应安全的切实需求. (2) 煤炭、石油等化石能

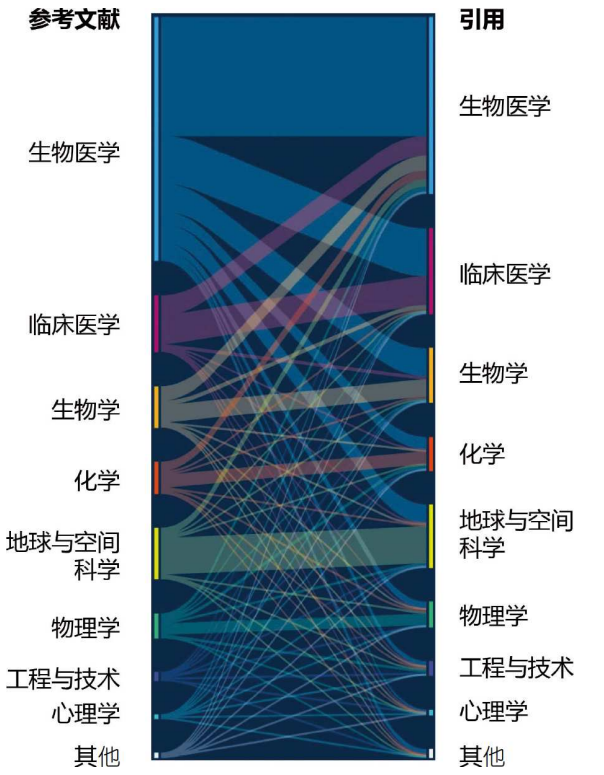


图 2 88637篇*Nature*论文的分析结果. 地球与空间科学论文72%的引用来自本学科内部, 仅有28%来自其他学科(据Gates[21]修改)

Figure 2 Analysis of 88637 Papers Published in *Nature*. It shows that 72% of citations to Earth and space sciences come from within the field, with only 28% from other disciplines (modified after Gates[21])

源在世界一次能源中长期占主导地位. 我国油气对外依存度逐渐攀升, 居高不下. 2024年, 中国一次能源消费总量为41.8亿吨油当量; 其中石油和天然气进口依存度分别为71.9%和43.6%[24]. 改进能源消费结构, 洁净开发和高效利用化石能源, 增加新能源和可再生能源的占比, 是我国应对全球变化、实现"双碳"目标的迫切需要. (3) 我国是地质灾害风险最高的国家之一, 已排查出地质灾害隐患点30余万处; 20世纪以来, 1/3陆上破坏性地震发生在中国, 七度及以上地震高烈度区占国土面积的58%; 地震死亡人数占到了全球地震总死亡人数的近1/2, 给生命安全和工程安全带来极大挑战. 近年来, 强震、气候变化和剧烈的人类工程活动使我国地质灾害风险急剧增加, 新时代西部大开发、交通强国和"一带一路"等国家战略以及川藏铁路、雅下水电等重大工程的实施, 都亟需解决地质灾害防控难题.

前沿探索方面, 深地过程与行星演化、地球圈层作用与宜居性、人类演化与环境变迁已逐步成为地质学研究的重要方向. 随着地质学的不断发展、海量数据的积累、研究范式的变革, 早期地球构造体制、物质循环和热耗散机制、地球深部和行星物质组成和动力学过程等成为前

沿和热点；创新理念方法、培育新型复合人才，加强深地过程与行星演化研究，是服务我国“深地”“深海”和“深空”国家战略的重要抓手. 多学科交叉推动的圈层相互作用以及生命与人类演化过程与机制研究是建立地球系统科学理论的突破口；发展复杂地球系统模式，认识宜居地球系统的运行规律，理解环境变迁与生命演化的互馈机制，可为抢占地球科学研究制高点、认识地球和预测未来提供科学依据.

基于我国地质学已有的学科体系、发展瓶颈以及上述需求分析, 以下六个领域需要重点关注(图3), 包括: 新能源矿产资源形成与安全、未来地质能源、复合巨灾机理与风险防控、宜居要素与圈层联动、深地引擎与行星演化、环境变迁与人类演化.

3 学科重点领域

3.1 重点领域的关键科学问题

3.1.1 新能源矿产资源形成与安全

该方向面向国家“新一轮找矿突破战略行动”等战略及科学前沿, 理解矿产资源, 特别是新能源矿产的形成过程, 推动发现更多矿产资源. 以下四个子方向需重点关注(图4). (1) 成矿介质与成矿元素行为. 精确表征成矿元素的地球化学性质和溶解反应性, 研发全岩-矿物尺度挥发分和同位素高精度测试方法，阐明挥发分对成矿元素迁移富集的控制，构建多圈层相互作用过程中成矿元素和挥发分的协同循环成矿理论. (2) 新能源矿产成矿机制. 研究新能源金属元素微观尺度赋存状态，揭示圈层相互作用驱动下的新能源金属元素化学行为、超常富集和差异性成矿机制；揭示成矿流体萃取、迁移与富集新能源金属的过程，阐明成矿元素沉淀机制，实现不同构造背景下新能源矿产资源成矿理论原始创新. (3) 智能矿产预测理论与方法. 研发数据-模型-计算三位一体的智能矿产预测模型，开发多种成矿系统的有效勘查“指针”矿物组合，构建多元多尺度勘查模型，创新融合天-空-地-深部一体化数据和智能矿产预测理论与方法. (4) 煤中金属. 研究煤及其共伴生矿产(金属和非金属)的物质成分、成因、分布规律及形成机制；研究煤中关键金属和能源金属的赋存状态与控制机理；依据煤层形成地质过程中所记载的矿物学、岩石学和地球化学记录，研究地球的结构、物质组成、地球环境和生命演化.

新能源矿产成矿作用涉及成矿物质的“超常”和“超量”富集, 以及成矿元素从“源区”到“目的地”的高效运输. 阐明不同成矿系统中成矿元素的输运方式和运移机制是未来的重要研究方向. 该方向的纲领性科学问题包括：成矿元素穿地壳循环动力, 成矿元素输运方式, 成矿元素聚集成矿效率, 煤中金属成藏/成矿过程, 分布赋存规律与机制.

3.1.2 未来地质能源

该方向保障我国能源安全并缓解油气对外依存度逐渐攀升的局面，其关键是增加国内能源有效供给，加强对新能源和可再生能源的开发利用，提高非化石能源在能源消费结构中的比重. 以下三个子方向需重点关注(图4). (1) 深层-超深层油气与非常规油气. 深入认识深层-超深层的油气源、规模优质储层、油气相态转变、油气运移动力等成藏关键要素，揭示深层-超深层油气成藏和富集机制；系统认识富有机质页岩热演化生烃与成岩成储机理、地质流体微观流动机

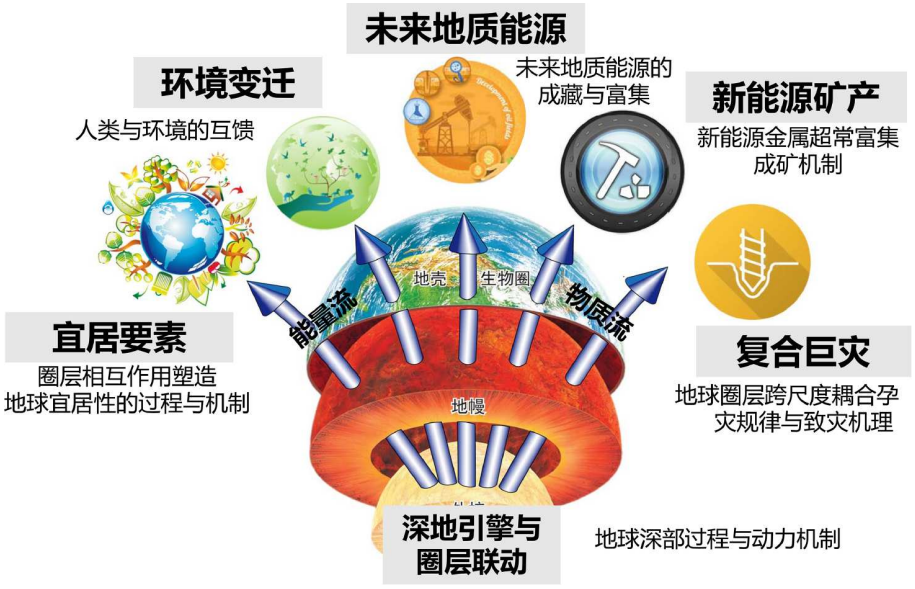


图 3 地质学六大应用基础研究领域的内在联系
Figure 3 Linkages between six applied fundamental research directions in Geology



图 4 地质学六大应用基础研究领域及其核心科学问题和纲领性科学问题
Figure 4 Six applied fundamental research directions with their core and guiding scientific questions

理, 揭示非常规油气成藏与富集机制. (2) 清洁能源(氦、氢、地热能). 研究氦源与氦释放及迁移富集机制、复杂地质介质中氦的运移和封堵机理、富氦气藏的动态成藏过程和富集机制; 揭示天然氢的地质成因机制、富集机理和分布规律. (3) 地热与地下水演化. 深刻认知地下水系统结构特征和循环过程, 揭示地下水资源形成和演化规律, 探讨复杂地下水系统中的物质与能量输运机理, 研发地下水动态精细监测、精确模拟评价与地下水储热技术; 聚焦高温地热资源(>150℃)的形成与分布, 揭示多圈层相互作用控制下的地热能聚热机理.

成藏与富集机制是能源研究的难题和核心科学问题, 亟需查明我国深层-超深层高温高压条件下油气成藏关键要素; 揭示新型清洁能源、地热聚集机制. 该方向的纲领性科学问题包括: 深层-超深层与非常规油气的源、储层和油气相态与运移动力, 新型清洁能源(氦气、氢气)的聚集机制及控制因素, 地热地下水系统热量运移过程与储能机理.

3.1.3 复合巨灾机理与风险防控

我国地处环太平洋-喜马拉雅构造带汇聚部位, 强烈的内外动力作用导致强震、极端气候和人类工程活动诱发的多灾种复合链生巨灾和重大工程灾害风险显著加剧, 严重威胁人居安全、国土空间地质安全、重大工程安全和生态地质环境安全. 以下三个子方向需重点关注(图4). (1) 地震灾害. 研究中国大陆及邻区地震构造环境与地震孕育发生物理过程, 揭示深部动力机制、地表变形特征及深部浅部的耦合机理、强震活动与灾害演化规律, 划分重要的地震危险区带, 服务地震预报. (2) 重大地质灾害. 系统认知地球圈层与内外动力跨尺度耦合致灾机制, 揭示强震、气候变化等极端条件下多灾种复合灾害时空演化规律与动力成灾机理, 突破重大地质灾害智能感知识别、预报预警、巨灾风险预测与调控技术瓶颈. (3) 重大工程灾害. 认识人地互馈作用下重大工程灾害致灾机制, 建立重大工程灾害时空预测与韧性防控理论, 攻克强震、高海拔、高寒、深地等极端环境下重大工程灾

害绿色韧性防控难题.

强震预报和复合巨灾精准预测预警是国际难题，亟需查明我国主要断裂带的活动性和孕震发震机理，揭示多圈层作用下复合链生灾害机制，突破复杂环境灾害智能识别、预警预报与防控技术瓶颈，构建韧性减灾与智慧减灾体系. 该方向的纲领性科学问题包括：强震孕育发生机理与预报理论，多圈层相互作用下重大地质灾害链生演化规律，人地互馈作用下重大工程灾害动力学机制与防控.

3.1.4 宜居要素与圈层联动

研究地球圈层系统与地球宜居性之间的关联和演变过程，地球固体圈层与流体圈层的耦合反馈，深入理解地球宜居性的形成演变过程与机理，为寻找地外宜居行星提供参考和启示. 以下四个子方向需重点关注(图4). (1) 宜居要素形成与演化. 重建温度、氧气、水、碳等宜居要素的演化历史，研究要素间相互作用和调节机制，理解地球宜居性形成机理及其稳定性. (2) 深浅圈层作用与生命演化. 研究地球内部的热力学过程和能量分布、地壳运动与板块构造、环境变化与生物过程的相互作用和互馈效应，揭示圈层作用对地球生物、生态系统演化的影响，探索全球生物地球化学循环机理. (3) 重大地质事件. 研究地球磁场起源和地磁倒转、大规模火山喷发、大氧化事件、极热和极冷事件，揭示这些重大地质事件对宜居要素的影响，深入理解地球宜居性的恢复机制. (4) 地球系统模拟. 研发包含地球固体圈层的地球系统模式，重点关注固体与流体圈层以及生命过程耦合的复杂地球系统模型，深入理解宜居性的边界条件与阈值.

圈层作用与宜居性是地球系统科学研究的核心，需要揭示圈层相互作用塑造地球宜居性的过程与机制，构建深部构造与浅表系统相互作用的动态耦合体系，恢复大陆、板块构造、生命与宜居地球的协同演化进程. 该方向的纲领性科学问题包括：地球大气、水、地壳及相关元素等宜居要素的形成与演化，构造-环境-生物共演化过程与机制，深浅圈层作用与重大地质事件对宜居要素演化的影响，地球系统模型与模拟.

3.1.5 深地引擎与行星演化

面向国家“深地”和“深空”战略以及地质学前沿，重点研究行星与地球深部物质组成与动力学过程，理解深地引擎动力机制与行星演化. 重点关注以下三个子方向(图4). (1) 早期地球形成. 研究冥古宙-太古宙地壳演化、地幔演化和生命起源，重点研究早期地球圈层分异，前板块构造体制与板块构造起源，地球早期深部物质循环与热演化规律，初始地壳的形成以及生命起源的地球环境. (2) 深地过程. 研究地球内部圈层形成和之后的演化历史，深部循环的一级控制因素及其与板块构造、地幔柱过程的联系，以及上-下地幔的物质交换. (3) 行星地质演化. 研究行星岩浆活动与壳-幔演化尤其是行星的岩浆-热演化特征与驱动机制，行星外部圈层演化尤其是水-大气演变、太空风化、撞击历史以及生命生存环境，行星构造特征以及驱动其构造演化的动力学过程.

地球深部过程与动力机制是当前地质学研究的前沿与难点，有待通过高温高压实验、深空探测和深部过程模拟集成研究，揭示早期地球的热耗散机制、地球深部物质循环动力机制与过程，以及行星岩浆-热演化与外部圈层演化规律. 该方向的纲领性科学问题包括：早期地球的构造体制与地球环境，地球深部圈层的演化规律，行星圈层的演化和相互作用机制.

3.1.6 环境变迁与人类演化

重点研究人类演化与环境变迁的互馈过程，理解多时间尺度人与自然协同演变机理，为应对未来气候变化提供借鉴. 重点关注以下三个子方向(图4). (1) 人类起源. 研究人类起源与气候环境关系，重点关注新生代早期环境巨变对灵长类起源与多样性的影响，以及对类人猿起源和身体结构、智力和行为演化的影响，理解气候环境变化对人类起源和加速的作用. (2) 人类迁徙. 研究第四纪环境演变对早期人类栖息地、迁移、扩散和适应的影响，特别关注此过程中人类智力、行为演化的复杂性以及人类对极端气候环境变化的适应性. (3) 人类文明. 研究末次冰消期以来气候环境变化对农业起源、发展和传播的作用，理解气候环境变化与古文明兴衰，以及重大历史事件之间的关系，并区分自然过程与人类活动对气候环境变化的影响.

古环境变迁与人类演化之间存互馈关系，古环境的变化影响了人类的进化方向和速度，而人类自身的活动和文化发展又通过改变古环境来影响人类演化，这种互馈过程塑造了今天人类物种的特征和能力. 该方向的纲领性科学问题包括: 构造作用对人类起源演化的推动, 冰期/间冰期气候对人类迁徙的控制, 人类文明发展与环境变迁的相互作用.

3.2 重点领域的现状剖析

与国际相比，过去十年，中国在新能源矿产资源形成与安全、未来地质能源、复合巨灾机理与风险防控等传统领域取得了显著进展，发文总数和高被引论文数均处于国际前列(图5)；在成矿流体、矿床成因、矿床勘查、深层-超深层油气、非常规油气、煤炭、地热、区域构造稳定性评价、地震、滑坡监测预警技术、强震地质灾害机理与预测和灾害工程处置技术等方面表现突出. 这在一定程度上得益于我国庞大的资源、能源、灾害研究队伍，以及具有中国特色的地质灾害“群测群防+专业监测预警”防控体系. 在地下水演化与安全、页岩油气甜点预测、干热岩及裂隙热储传热机理、多圈层相互作用下多灾种复合链生灾害机制等方向处于跟跑状态.

在宜居要素与圈层联动、深地引擎与行星演化和环境变迁与人类演化等新兴领域近几年发展迅速，整体上处于与国际并跑的地位(图5). 地球圈层作用与宜居性领域，我国研究论文的发文总量与美国相当，两倍于英国、加拿大、法

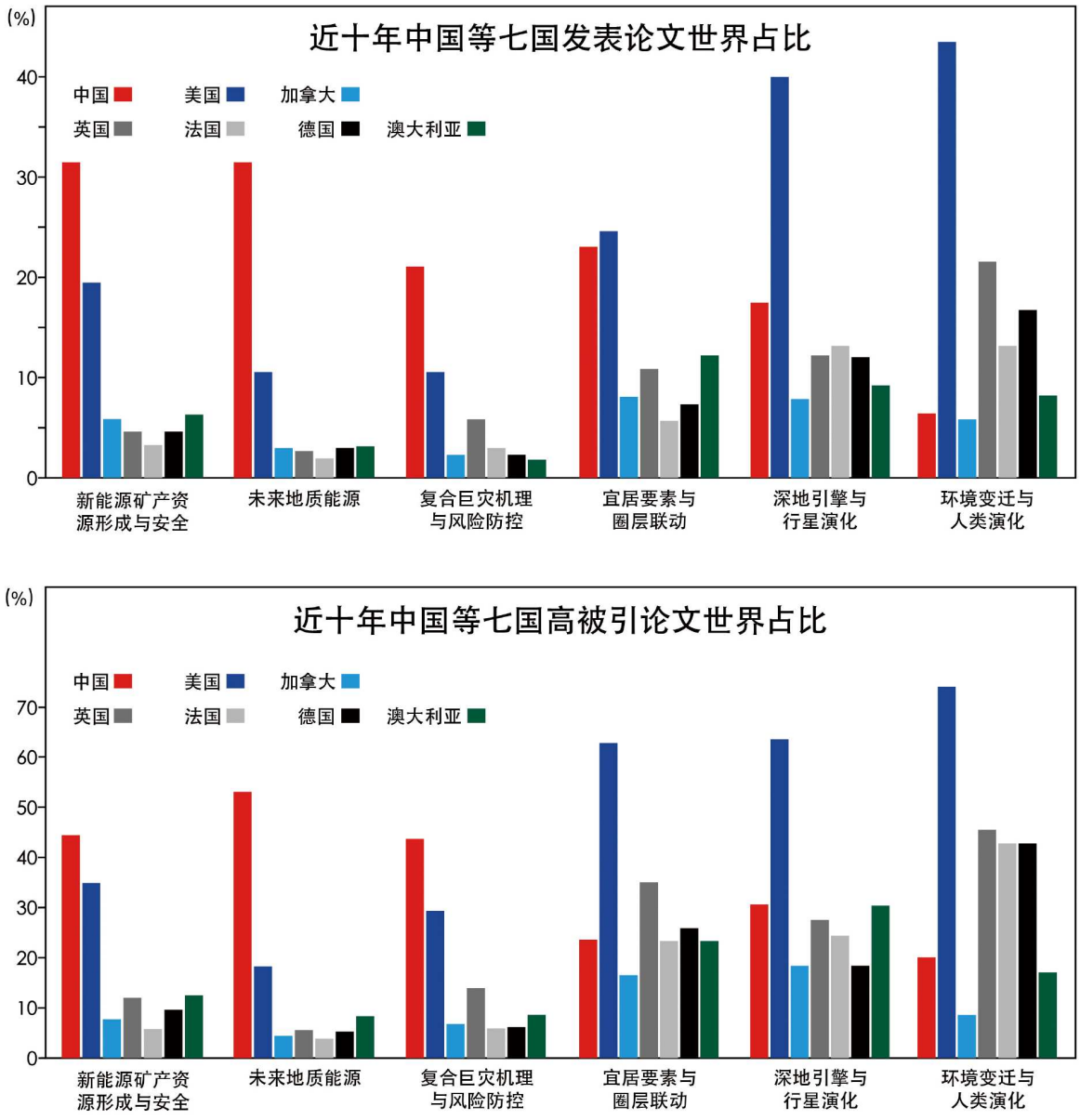


图 5 六个重点领域近10年发文总量和前1%论文的多国对比

Figure 5 Multi-Country comparison of total publications and top 1% highly cited papers across six applied fundamental research directions over last decade

国、德国、澳大利亚等科技强国; 尤其是在生命演化、青藏高原隆升的生物与环境效应、关键元素的生物地球化学循环、板块俯冲起始、超大陆旋回、大火成岩省等方向, 我国处于国际领先位置. 深地过程与行星演化领域, 我国在前板块构造与板块构造起源、早期大陆形成、地球深部时间构架、深地过程高温高压实验模拟等方向与国际并跑, 但在生命起源、行星外部圈层演化、行星构造与动力学、深地过程与挥发分物质循环等方向仍与国际前沿水平存在一定差距, 处于跟跑状态. 人类演化与环境变迁领域, 我国研究论文发文总量低于欧美发达国家, 尤其是古人类模拟方向需要极大加强. 这三个领域, 我国高被引论文以国际合作产生或者利用具有中国区域特色的研究材料为主, 近期行星学科的快速发展也与我国月球和火星探测计划的实施有关; 我国相关队伍还显得薄弱、部分学科体系尚未形成; 在复杂地球系统模拟等方向, 我国研究实力明显偏弱, 布局不够.

总的来说, 我国源头创新等仍与欧美发达国家存在一定的差距; 在相关领域国际学术组织和权威国际期刊话语权不足, 国际重要奖项、国际学术会议大会报告等数量偏少, 国

际学术影响力仍有提升空间; 多数软件和试验测试仪器设备严重依赖进口, 存在卡点风险.

4 科学理念与方法变革

科学研究的范式主要包括经验范式、理论范式、计算范式以及数据驱动范式. 经验范式依赖于人类对自然现象的观测与经验性描述; 随着观测数据的积累, 这些经验逐渐被总结、提炼为理论; 随后, 数值模型在此基础上逐步发展起来. 近年来, 随着海量数据的涌现, 大数据驱动的研究范式应运而生. 地质学研究同样遵循上述发展规律, 需要综合运用多种研究范式, 尤其注重大数据驱动方法与数值计算的深度融合与协同探索.

现代地质学的核心是以地球系统科学的视角, 阐明圈层相互作用机制及互馈效应. 但地球不同圈层在总体质量、运动速率和能量传输等方面存在数量级的差距, 已认知的演化时间尺度差别巨大, 如固体圈层的演化尺度是百万年级的, 而控制环境和气候变化的流体圈层的演化尺度是万/千年级的. 因此, 如何耦合存在数量级差异的地球固体圈层和流体圈层的动力学过程, 是地质学科寻求突破的关键, 也是世界各科技强国力争的学术制高点.

地质学需要变革的"科学理念"有两个, 一是融通不同时间尺度的地质过程, 二是耦合固体和流体圈层中物理、化学、生命过程. 唯如此, 才能精准理解不同圈层的相互作用和互馈机制, 推动地质学的跨越式发展.

随着观测、探测和分析能力的提升, 不同学科的数据积累呈几何指数上升, 如何科学高效管理大数据、融合不同学科观测数据成为地质学研究方法变革的突破口, 也是地球系统科学发展的必由之路. 这亟需建立高分辨率的精时定年和正演模拟手段、研发能够引领学科发展的观测仪器、创建以新数据获取和大数据支撑的"数据-模式驱动"科学研究体系; 其中亟待突破的核心技术是多学科交叉的数据融合同化方法, 创建包含地球固体圈层的地球复杂系统模式.

传统的地质学研究方法是基于观测、综合、推理并提出假说, 侧重归纳, 演绎不足. 现代地质学的发展要求两种范式并重和融合. 未来地质学应打破学科屏障, 开发固体地球数据的人工智能和同化模型, 耦合已有的流体圈层模式, 使流固耦合成为可能, 推动地质学研究由"归纳"向"归纳与演绎"的转变, 实现地质学研究手段与方法的变革, 为进一步认识矿产资源、能源、地质灾害、行星与宜居地球的形成演化提供方法学支撑.

5 现有团队、平台和人才基础

目前, 地质学科拥有较多的重点团队. 以国家国家自然科学基金委员会创新研究群体为例, 过去20年里, 共18个约占地球科学部总数的25%. 这些团队集中分布在北京、南京、武汉、西安和广州等地; 涵盖了大地构造、煤炭、石油天然气、古生物、岩石矿物、矿床等学科方向; 具备较强的学术实力和研究能力, 取得了丰硕的研究成果, 在学术界具有很高的声誉和影响力. 团队负责人成为该领域的领军人物. 但已有重点团队的主攻方向集中于传统地质学的各分支领域, 尚未涵盖现代地质学的其他领域, 如行星地质、地球系统模型等. 这些未涵盖的领域主要涉及深地过程与行星演化、地球圈层作用与宜居性和人类演化. 这与这三个领域目前的发展现状——发展迅速但队伍薄弱密切相关.

目前, 地质学科拥有全国重点实验室大型平台17个, 涵盖了上述部分重点研究领域和相关子领域. 以目前地学在国内各学科间的领先地位, 可以推断这些大型平台支撑了我国地质学高速发展. 比如固体地球科学实验室联盟运行了18个年头, 已经成为科技部实验室发展建设的标杆, 发起了若干重大研究计划(如华北克拉通破坏、特提斯地球动力系统、关键金属、深地科学等)、推动了若干国际大科学计划(如深时数字地球DDE), 并支撑了常态化的国际合作, 取得了许多突破性的科研成果, 推动了地质学学科跨越式发展和科研成果转化.

我国具有世界上规模最大的地质科学研究队伍, 为地质事业发展作出了巨大贡献. 近十多年来, 我国地质学基础研究的蓬勃发展催生了人才培养的良好势头, 为地质学研究队伍源源不断地注入大量新鲜血液, 我国的地质学研究力量空前壮大, 这无疑推动了国民经济和社会的发展并为早日成为地学强国铺平道路. 在地质人才培养方面, 我国已建成完善的、高质量的本科-硕士-博士地质教育体系, 全国有20多所院校开设地质学专业, 更多的高校和科研院所具备招收地质学研究生资格. 据不完全统计, 目前全国在读地质学专业本科生和研究生(含博士生)已达到2万人. 2017年经教育部批准, 6所地质院校及其地质学学科进入"双一流"建设行列. 目前, 教育部在原有"国家理科基础科学研究和教学人才培养基地"的基础上, 进一步部署了"基础学科拔尖学生培养计划2.0基地"的建设工作, 目的在于探索育才选才机制、创新人才培养模式、加强育人成效评价. 在高端地质人才培养方面, 科学技术部、教育部、自然资源部、中国科学院和国家自然科学基金委员会等部门均制定了激励人才成长的有效机制和政策, 培育了大量的高层次人才, 学科领域的创新研究团队建设正在高质量加速发展. 然而, 近几年各大高校地质学专业招生及就业情况不甚理想, 青年人才梯队建设需要重视和加强.

6 未来展望

地质学从诞生之初到现代多学科交叉科学的建立, 历经了理论的形成、技术的革新与应用的拓展等多个阶段. 她是国家战略需求与学术前沿探索的关键领域, 更是推动能源与矿产资源开发、环境保护以及人类文明进步的基础支撑.

未来, 地质学将在服务国家重大需求和拓展科学认知边

界中扮演更重要的角色. 随着全球面临资源短缺、气候变化、地质灾害等严峻挑战, 地质学的发展需要更加注重科学理念的创新与研究方法的变革, 加强新能源矿产、未来能源、灾害风险防控、宜居地球系统、深地与行星演化以及环境与人类协同演化等核心领域的应用基础研究.

地质学科的发展需要通过以下几项举措, 助力学科布局优化、深化国际合作、推动自主创新, 并加速人才培养的复合化进程.

(1) 构建鼓励多学科交叉融合的评价和评审体系. 设立地学内部的交叉方向资助体系或跨领域、跨学科、跨部门的交叉合作研究计划或项目群, 提高首席科学家在顶层设计和项目/经费分配方面的支配权重, 对多学科交叉解决地质学发展的挑战、培育“从零到一”原创性发现具有根本的支撑作用.

(2) 加大技术和科研复合型人才的培养力度. 国际学术大家大多是技术和科研复合型人才, 而我国学者大多采用国际上成熟的技术方法开展研究; 现有资助体系中, 技术研发受重视的程度往往次于技术应用. 开辟由技术创新引领科学原创的项目和人才资助板块, 对于保障技术研发者的积极性和创造性, 培养既精通技术、又深谙科学问题的复合型人才具有重要的推动作用.

(3) 加强行星地质学建设, 提高遥感数据的应用. 深空探测强国亟需行星地质学, 有科学且有学、有科研且有教育、有团队且有梯队. 加强探测载荷的研制与数据应用也是我国行星科学建设的必经之路.

(4) 设立地球系统碳循环国家专项. 设立专项, 推动碳循环理论和碳捕获封存技术的突破, 促进未来地质能源的开发利用, 指导有效减排政策的制订, 服务国家“双碳”目标.

致谢 感谢国家自然科学基金地质学科梳理战略研究项目(42342060)资助. 诚挚感谢地质学科体系梳理战略研讨组成员代世峰、范宣梅、彭澎、邱楠生、王汝成、吴怀春、吴吉春、杨志明、张立飞、左仁广、任建国、李海龙在学科体系梳理以及文章撰写中作出的重要贡献.

推荐阅读文献

1 Oldroyd D R. Thinking About the Earth: A History of Ideas in Geology. Cambridge: Harvard University Press, 1996
2 Hutton J. Theory of the Earth With Proofs and Illustrations. Edinburgh: Cadell Press, 1795
3 Lyell C. Principles of Geology. Vol. 1. London: John Murray, 1830
4 Smith W. Strata Identified by Organized Fossils. London: Heralds of Science, 1816
5 Wegener A. Die Entstehung der Kontinente. Geol Rundsch, 1912, 3: 276–292
6 Hess H H. History of ocean basins. Petrolog Studies, 1962, 4: 599–620
7 Vine F J, Matthews D H. Magnetic anomalies over oceanic ridges. Nature, 1963, 199: 947–949
8 Wilson J T. A new class of faults and their bearing on continental drift. Nature, 1965, 207: 343–347
9 Wilson J T. Did the Atlantic close and then re-open? Nature, 1966, 211: 676–681
10 McKENZIE D P, PARKER R L. The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. Nature, 1967, 216: 1276–1280
11 Morgan W J. Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. J Geophys Res, 1968, 73: 1959–1982
12 Le Pichon X. Sea-floor spreading and continental drift. J Geophys Res, 1968, 73: 3661–3697
13 Esmark J. Bidrag til vor Jordklodes Historie. Magazin for Naturvidenskaberne, 1824, 2: 2849
14 Adhémar J A. Révolutions de la Mer, Déluges Périodiques. 2nd ed. Paris: Lacroix-Comon, Hachette et Cie, Dalmont et Dunod, 1842
15 Meech L W. On the relative intensity of the heat and light of the Sun upon different latitudes of the Earth. In: Smithsonian Contribution to Knowledge IX. Washington DC: Smithsonian Institution, 1856. 64
16 Milanković M. Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Mihaila Ćurčića: Royal Serbian Academy special publications Belgrade, 1941. 633
17 Berger A L. Obliquity and precession for the last 5000000 years. Astron Astrophys, 1976, 51: 127–135
18 Hays J D, Imbrie J, Shackleton N J. Variations in the Earth’s orbit: pacemaker of the Ice Ages. Science, 1976, 194: 1121–1132
19 Holmes A. Principles of Physical Geology. 2nd ed. London: Nelson, 1965. 1288
20 Xu Y G. The contribution of Earth Sciences to human civilization (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, doi: 10.1360/CSB-2025-0635 [徐义刚. 地球科学对人类文明的贡献. 科学通报, 2025, doi: 10.1360/CSB-2025-0635]
21 Gates A J, Ke Q, Varol O, et al. Nature’s reach: narrow work has broad impact. Nature, 2019, 575: 32–34
22 Wang A, Yuan X. Security of China’s strategic and critical minerals under background of great power competition (in Chinese). Bull Chin Acad Sci, 2022, 37: 1550–1559 [王安建, 袁小晶. 大国竞争背景下的中国战略性关键矿产资源安全思考. 中国科学院院刊, 2022, 37: 1550–1559]

23 China Geological Survey Global Mineral Resources Strategy Research Center. Global Mineral Resources Reserves Assessment Report 2024 (in Chinese). 2024, https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202404/t20240429_759441.html [中国地质调查局全球矿产资源战略研究中心. 全球矿产资源储量评估报告2024. 2024, https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202404/t20240429_759441.html]

24 China National Petroleum Corporation Economics and Technology Research Institute. 2024 Report on the Development of the Domestic and International Oil and Gas Industry (in Chinese). Beijing: Petroleum Industry Press, 2025 [中国石油集团经济技术研究院. 2024年国内外油气行业发展报告. 北京: 石油工业出版社, 2025]

Summary for “地质学资助体系布局研究”

Toward a strategic framework for geology science funding

Yigang Xu[1], Zhonghe Zhou[2], Zhongshi Zhang[3], Bo Wan[4] & Yuanming Zheng[5*]

[1] *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*
[2] *Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China*
[3] *Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China*
[4] *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*
[5] *Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China*
* Corresponding author, E-mail: zhengym@nsfc.gov.cn

Geology, which investigates the Earth’s Sphere structure, material composition, dynamic processes, and evolutionary patterns, is one of the oldest and most fundamental disciplines within the Earth sciences. It has not only deepened humanity’s understanding of nature and driven the development of energy and mineral resources, but has also provided essential support for national prosperity, environmental protection, the advancement of human civilization, and even extraterrestrial exploration. Today, driven by both national strategic demands and frontier scientific exploration, Geology faces pressing challenges such as resource scarcity, energy dependence, and growing risks of geological hazards. At the same time, it encounters unprecedented opportunities in understanding deep Earth processes, the habitable Earth system, and the co-evolution of humans and the environment. The future development of Geology in China should focus on the following six applied fundamental research directions. (1) Formation and security of critical minerals for new energy: investigate the extraordinary enrichment and efficient transport of ore-forming elements, elucidate metallogenic mechanisms across diverse tectonic settings, and develop intelligent predictive models. The overarching scientific questions include: the driving forces of crustal-scale cycling of ore-forming elements, their transport pathways, the efficiency of element accumulation and mineralization, metal accumulation and mineralization processes in coal, and their distribution patterns and controlling mechanisms. Key research priorities include ore-forming media and element behavior, mineralization mechanisms of new-energy minerals, theories and methods of intelligent mineral prediction, and metals in coal. (2) Future geological energy: explore the key factors controlling the accumulation of deep and unconventional oil and gas, uncover the accumulation mechanisms of clean energy sources such as helium and hydrogen, and study heat transfer patterns within geothermal and groundwater systems. The overarching scientific questions include: sources, reservoirs, phase states, and migration dynamics of deep to ultra-deep and unconventional oil and gas; accumulation mechanisms and controlling factors of emerging clean energies (helium and hydrogen); and heat transport processes and energy storage mechanisms in geothermal–groundwater systems. Key research priorities include deep and ultra-deep hydrocarbons, unconventional oil and gas, clean energies (helium, hydrogen, and geothermal energy), and the evolution of geothermal and groundwater systems. (3) Mechanisms and risk prevention of compound catastrophes: decipher the mechanisms of strong earthquake preparation, reveal the evolutionary patterns of disaster chains under multi-sphere interactions, and develop precise early-warning technologies and sustainable, resilient prevention strategies. The overarching scientific questions include: mechanisms and prediction theories of strong earthquakes; evolutionary laws of major geological disaster chains under multi-sphere interactions; and dynamic mechanisms and prevention of major engineering disasters under human–Earth feedbacks. Key research priorities include seismic hazards, major geological hazards, and major engineering disasters. (4) Earth habitable elements and sphere interactions: investigate coupling and feedback processes between the solid and fluid spheres of the Earth, reconstruct the evolutionary history of habitable elements, and develop next-generation Earth system models. The overarching scientific questions include: the formation and evolution of habitability factors such as the atmosphere, hydrosphere, crust, and related elements; processes and mechanisms of tectonic–environment–biosphere co-evolution; impacts of deep–shallow Earth interactions and major geological events on habitability evolution; and Earth system modeling and simulation. Key research priorities include the formation and evolution of habitability factors, deep–shallow Earth interactions and life evolution, major geological events, and Earth system simulations. (5) Deep Earth engine and planetary evolution: examine early Earth tectonic regimes and heat dissipation mechanisms, uncover the dynamics of deep material cycling, and explore the evolution and feedback mechanisms among planetary spheres. The overarching scientific questions include: tectonic regimes and environmental conditions of the early Earth; evolutionary patterns of deep Earth spheres; and evolutionary and interactive mechanisms of planetary spheres. Key research priorities include early Earth formation, deep Earth processes, and planetary geological evolution. (6) Environment and human co-evolution: analyze how paleoclimate variations influenced human origins and migrations, examine the interactions between environmental shifts and civilizational development, and explore mechanisms of human adaptation to changing environments. The overarching scientific questions include: the role of tectonic processes in driving human origins and evolution; controls of glacial–interglacial climate cycles on human migration; and interactions between human civilization development and environmental change. Key research priorities include human origins, human migration, and human civilization. Breakthroughs in Geology demand transformative scientific paradigms and methodologies, stronger interdisciplinary integration, and data-driven approaches. Sustained innovation through collaboration with related disciplines, enhancement of talent cultivation mechanisms, strategic team building, and technological platform development are essential. By deepening international cooperation and fostering independent innovation, this ancient discipline will continue to evolve and contribute to the sustainable future of humankind.

geological discipline framework, historical contributions, future development, six priority research directions