

数字时代背景下地球科学教育的若干展望

王成善^{1*}, 姚翰威²

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

2. 中国地质大学(北京)科学研究院, 北京 100083

* 联系人, E-mail: chshwang@cugb.edu.cn

地球科学作为一门研究地球系统演变、自然资源分布与环境变化的基础性学科, 其发展历程与社会经济需求、人类对未知自然世界的探索以及科技进步的阶段跃迁密切相关^[1]。尽管在某些历史阶段曾面临“边缘化”甚至“衰退”的处境, 其基础地位与战略价值却从未真正被削弱, 反而随着时代演进和全球性挑战的加剧愈发凸显^[2]。当下, 能源短缺、气候变化、自然灾害频发与生态环境恶化等全球议题日益严峻, 地球科学再次被推至科学研究和政策关注的前沿^[3]。历史经验表明, 每一次学科的“低谷”往往孕育着新的“高峰”: 随着人类对自然资源勘探、生态修复与灾害预警等能力的依赖加深, 地球科学的研究与教育持续获得新的发展机遇与技术突破。

进入21世纪, 数字革命作为继蒸汽机、电力与信息革命之后的“第四次工业革命”, 正以前所未有的速度重构全球的生产方式、社会结构与科学研究范式。大数据、人工智能、云计算与物联网等技术群正在重塑学术边界, 也促使传统学科体系面临深度再造的挑战与机遇^[4]。地球科学亦站在这场技术变革的浪尖: 当前, 深度学习模型已可实现近七成的地震序列预测精度^[5], 而数字孪生技术则正在重构我们对气候系统、地质构造乃至地球演化过程的理解方式^[6]。当物理世界逐步被镜像进虚拟空间, 传统的课堂和野外教学能否满足新一代地球科学人才的认知需求? 这场由算法跃迁、算力激增与数据洪流共同驱动的范式革新, 深刻影响着地球科学教育的全链条结构: 从知识生产与传播机制, 到人才能力标准与教育伦理, 均面临系统性重构的紧迫命题。

回顾地球科学的发展轨迹, 不难发现其始终在“危机-革新”的周期性震荡中螺旋式演进^[7,8]。20世纪80年代, 由于科研经费紧缩, 地质类科研活动受到抑制; 90年代, 全球矿产与石油产业低迷导致地质类专业就业前景暗淡, 引发全球范围内学科收缩与人才断层, 欧美近半数地质学系陆续关闭^[3,7]。2020年以来, 大学财政愈发紧张, 部分高校不得不暂停地质类专业设置, 进一步加剧了地学教育生态的系统性萎缩^[3]。



王成善 中国地质大学(北京)教授, 中国科学院院士, 深时数字地球(DDE)国际大科学计划发起人和创始执行委员会主席。作为第一完成人获国家自然科学二等奖、教育部科技进步一等奖等10余项国家和省部级奖项。获何梁何利科学与技术进步奖、李四光地质科学奖、全国先进工作者、全国五一劳动奖章等荣誉称号。

据统计, 自2014年起, 欧美选择就读地球科学本科的学生数量逐年递减^[9~12]。造成这一趋势的, 既有外部经济与社会环境的冲击, 也有地质学自身教学内容与方法陈旧所致——传统教育模式已难以激发年轻一代的学习热情, 教育改革的紧迫性日益显现。

在数字革命的背景下, 地球科学教育面临着前所未有的新使命与新任务。一方面, 固有的学科培养体系必须打破, 引入大数据、人工智能等数字工具体系, 推动课程体系、实践路径与评价机制的系统升级; 另一方面, 还需打破传统学科边界, 构建融合跨学科素养、全球视野与社会责任感于一体的人才培养模式。如何系统性培养具备“数字地学”能力的新一代地球科学人才, 已成为全球高等教育体系亟需回应的重要命题。地球科学教育的转型不仅是学科内生式发展的客观需求, 更是人类社会应对全球环境变化、实现可持续发展战略目标的内在要求。

本文将聚焦数字革命背景下地球科学教育面临的挑战与变革, 分析高校与科研机构在教育模式改革、地学院系重组、数字技术应用于课堂、项目支持等方面的探索实践, 并在此基础上提出未来地球科学教育发展的建议。希望本文能够为推动我国乃至全球地学教育的系统创新和改革、学科重构与国际协同提供理论支撑与实践参考。

引用格式: 王成善, 姚翰威. 数字时代背景下地球科学教育的若干展望. 科学通报

Wang C, Yao H. Several prospects for geoscience education in the digital era (in Chinese). Chin Sci Bull, doi: [10.1360/CSB-2025-0506](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0506)

1 数字革命时代下的百年未有之大变局

1.1 数字技术驱动的全球变革

继以蒸汽机、电力、信息为核心技术的前三次工业革命之后, 21世纪以来, 全球科技发展逐步进入以大数据与人工智能(artificial intelligence, AI)为代表的第四次工业革命——数字革命(digital evolution). 这场变革正以前所未有的速度重塑全球经济形态、社会结构与科学研究范式^[13]. 人工智能、大数据、云计算、大模型、区块链、量子计算等前沿技术的广泛应用, 正在深刻改变生产方式、商业模式与知识生产逻辑^[14]. 这不仅成为推动全球经济增长的新引擎, 也对科技创新体系、教育结构和学科发展路径带来了深远影响^[4].

图灵奖得主Jim Gray在2007年提出“第四研究范式(The Fourth Paradigm)”的概念, 认为通过海量数据的采集、存储与分析, 所驱动的数据密集型科学(data-intensive scientific discovery)将逐步取代传统的实验科学与理论科学, 成为推动科研突破的关键方式^[6,15]. 地球科学作为研究地球系统结构与演化规律的核心学科, 正在经历从经验驱动向数据驱动的研究范式转型^[16]. 高分辨率遥感、全球气候建模、深度学习地质识别、智能地球系统模拟等技术手段的不断突破, 极大提升了地学研究的效率与精度. 然而, 这些技术浪潮的推进也对地球科学的知识结构、研究方法与人才体系提出了根本性挑战: 我们是否已准备好培养适应这一新时代要求的新型地球科学人才? 传统高校的人才培养机制能否实现范式性转变?

1.2 中国科技力量崛起与地球科学教育的战略布局

在全球科技竞争日益激烈的当下, 中国正加速迈入创新驱动的发展阶段, 着力构建具有全球影响力的科技创新高地. 尤其是在高等教育领域, 中国持续推进“双一流”建设战略, 旨在推动一批高校与学科跻身世界前列. 这一战略不仅提升了中国高教整体水平, 也为地球科学教育的跃升提供了坚实的政策保障与资源支持. 作为国家战略性基础学科之一, 地球科学的人才培养体系正经历深刻调整, 以更好契合数字时代的科技发展需求. 当前改革主要体现在强化跨学科融合、推动教育数字化转型与拓展国际化合作三大维度: 通过促进地学与信息科学、生命科学、工程技术等领域的深度交叉, 推动多学科协同机制; 同时, 依托全球顶尖大学和科研机构的合作网络, 拓展国际交流平台, 着力培养兼具全球视野与创新能力的高层次地球科学人才.

《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》明确提出, 到2035年全面建成教育强国的战略目标, 并制定了一系列关键政策, 为地球科学教育改革提供了行动指南. 纲要强调要增强高等教育综合实力, 打造引领型人才供给体系, 分类推进高校改革, 优化学科布局, 加快建设中国特色、世界一流大

学和优势学科, 同时完善拔尖创新人才的识别与培养机制. 尤其对基础与交叉学科的支持, 如实施“基础学科突破计划”“交叉融合提升计划”, 有望极大推动地球科学的学科创新、青年人才成长与科技成果转化.

近年来, 随着数字技术在地学研究中的广泛渗透, 中国地学界积极推动大数据与人工智能的融合创新, 形成了以“深时数字地球(deep-time digital Earth, DDE)”国际大科学计划为代表的大数据平台和地学大语言模型构建和开发, 试图为全球地球科学研究和教育提供全新工具体系^[17]. 所以, DDE在发起初期到现在一直面临诸多挑战, 如国际学者与出版商对数据版权与国家影响力的疑虑, 甚至导致2024年欧洲地球科学联合会(European Geosciences Union, EGU)内部针对该争议展开了激烈的讨论, 并被*Science*专题报道, 文中称: “在科学界和更广泛的世界里, 很少有什么事情能像人工智能(AI)的日益普及和中国日益增强的影响力那样引发如此多的焦虑”^[18]. 然而, 种种争议的背后, 实则映射出中国在推动地学领域国际治理、技术创新与开放合作中日益突出的地位与作用.

1.3 全球变化与地球科学的新使命

随着全球气候变化、资源紧张与环境退化问题日益加剧, 地球科学面临新的历史使命. 国际科学界普遍认为, 人类活动已深刻改变了全球气候系统结构, 迫使各国在科学、政策与社会层面做出协调响应. 2014年中美签署《中美气候变化联合声明》, 标志着全球气候合作迈出重要一步. 2015年我国正式加入《巴黎协定》, 积极推进绿色低碳发展, 完善政策体系、强化技术创新, 并在能源、工业、交通等关键领域推行系统性改革与绿色转型. 在此背景下, 地球科学作为理解地球系统运行规律、服务全球变化治理的重要学科, 其使命远超传统意义上的基础研究, 而是成为引领绿色发展、支持科学决策和促进全球合作的重要力量.

数字技术的发展为地球科学应对全球变化提供了强大工具支持. 人工智能技术广泛应用于气候预测、地质演化分析、自然灾害预警等领域, 极大提升了研究精度与响应效率; 大数据与云计算推动地学数据共享与协同分析机制的构建, 打破了传统数据孤岛; 而数字孪生等新兴技术则为碳排放追踪与气候调控提供了新路径^[19,20]. 因此, 在碳中和成为全球共识的时代背景下, 地球科学亟需构建面向未来的教育与科研体系, 深度融入联合国可持续发展议程(sustainable development goals, SDGs)(<https://sdgs.un.org/2030agenda>), 积极应对人类面临的多维挑战, 在绿色低碳转型与全球共治中发挥引领性作用.

2 数字革命时代下地球科学领域面临的挑战

在数字革命快速发展的背景下, 作为既是基础性学科, 又与生产生活息息相关的地球科学, 也受到全球经济格局调

整与科研资源配置变化的多重影响。当前,地球科学面临数字化转型和社会经济发展需求变化的“双重挑战”,主要表现两方面:一是教育和科研经费持续紧缩;二是青少年群体对地球科学专业的兴趣与报考意愿显著下降。这两者相互交织,直接制约了学科的研究深度、创新能力与人才储备,亟需通过政策引导、教育体系改革与公众认知提升等多维措施加以应对。

2.1 教育和科研资金削减

近年来,全球多国高校持续削减地球科学相关院系和课程,地学教育形势日趋严峻。这一趋势在澳大利亚表现得尤为突出。例如,麦考瑞大学解散了其享誉国际的地球与行星科学学院,原有21名教职员中有18人被解聘;纽卡斯尔大学彻底取消了地质学本科专业;澳大利亚国立大学地球科学研究学院大幅裁员,致使全球首台SHRIMP(高灵敏度、高分辨率二次离子探针质谱仪)实验室的科研能力显著下降。事实上,澳大利亚东部几乎所有高校都缩减了地球科学本科课程的规模。高校财务困境和政府政策调整是造成上述现象的直接原因。新型冠状病毒感染疫情导致澳大利亚大学收入骤减,2020年澳大利亚高校共裁撤了17300个教职岗位;与此同时,澳大利亚联邦政府调整了高等教育经费的分配政策,按照学生注册人数拨款,并将对地球科学与环境科学课程资助削减了29%。生源较少的地学学科因此经费更加短缺,成为高校压缩支出时首当其冲的削减对象。在此背景下,各大学纷纷缩减地球科学相关课程规模,招生人数也随之骤减。麦考瑞大学的做法进一步印证了这种以经济回报为导向的取舍:该校在裁撤大部分地球科学教职员工的同时,却宣布投入6000万澳元新建法学院。这一举动表明,在财务压力下,高校更倾向于优先发展利润率更高的学科。此外,国际学生学费收入

的大幅下滑也迫使高校更加注重经济回报,从而进一步边缘化了本就依赖科研支撑的地球科学教育体系^[10,11]。类似现象在加拿大与英国也同样存在。劳伦森大学关闭环境学院,终止地理学、环境科学和生态学等课程;佛蒙特大学与英国伦敦大学皇家霍洛威学院亦削减地学类课程与师资配置。预计英国其他高校也将陆续出现类似缩编^[21]。

这一系列削减措施不仅削弱了地球科学师资力量与实验设备更新能力,也造成研究生失去导师、本科生被迫转专业甚至退学(图1),严重威胁地球科学教育的可持续发展根基。历史经验显示,在美国,20世纪80年代地质调查局因经费缩减终止多个地质项目^[22];90年代采矿与石油行业低迷使地学就业形势严峻,地学高校报考率持续下滑^[23,24]。德国将科研部与教育部合并(German Federal Ministry of Education and Research, BMBF)(https://bmbf-test41.gsb.itzbund.de/bmbf/en/ministry/our-offices/our-offices_node.html),美国撤销教育部和大幅度削减国家投入地学的科研经费(<https://www.ed.gov/about/news/press-release/us-department-of-education-initiates-reduction-force>),这些科研与教育政策不稳定与经费波动加剧了地学发展的脆弱性。

地球科学对于气候变化应对、自然灾害防控与能源转型至关重要,然而当世界最需要这些专业知识与技术储备之际,地学学科反而面临系统性削减。这种短视行为不仅削弱全球地学研究能力,也直接影响可持续发展目标的实现。“削减地球科学人才库,而非扩大和培育它们,是极其轻率之举,将带来深远且持久的负面后果——没有地球科学家,就没有可持续的未来。”^[21]

2.2 青少年选择减少

数字革命背景下,地球科学专业在青少年群体中的吸引

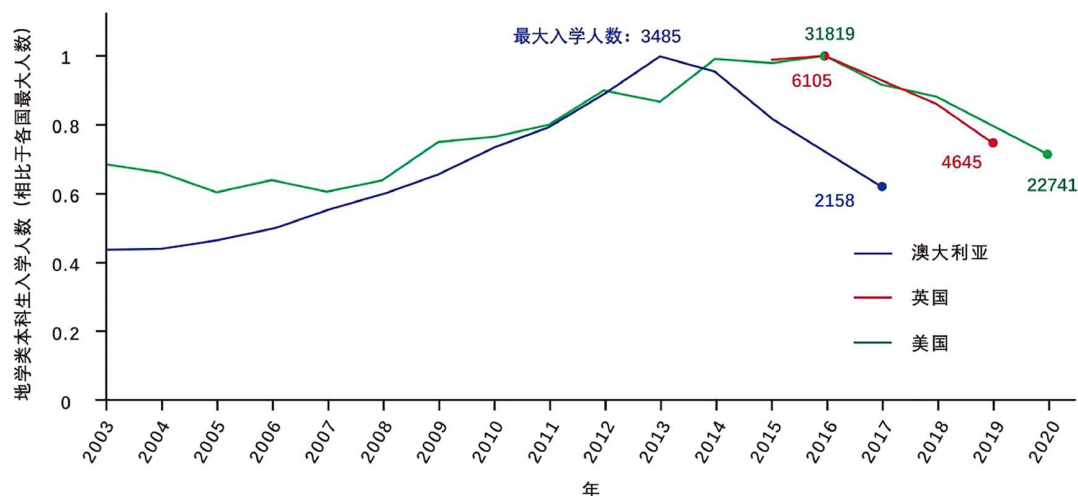


图1 21世纪以来美英澳国家地学类本科生入学人数变化^[9]

Figure 1 Changes in the enrollment numbers of geoscience undergraduate students in USA, UK and Australian since the 21st century^[9]

力持续下降,已成为制约学科发展的关键瓶颈。欧美国家尤为明显:在新冠疫情前,澳大利亚地质类专业入学率已呈下降趋势。英国2020年报告指出,2014~2020年地质学专业学生人数减少了43%。美国本科地质专业从2015年峰值的约32000人,降至2021年不足21000人(图1)^[9]。在加拿大,地质学、地球物理学和地质工程专业的理学学士学位注册人数几乎减半,从2014年的约4200人降至2021年的2400人^[11]。

其原因多方面交织。一方面,地球科学在中小学课程体系中边缘化,覆盖率低、系统性弱,致使学生缺乏基本认知和兴趣基础。另一方面,公众对地质职业前景认知偏狭,普遍将其等同于传统的资源勘探行业,忽视其在气候变化、环境治理与可持续发展等领域的关键作用。与此同时,数字技术、生物医药等“热门”专业凭借高薪资与广阔前景吸引大批青少年,进一步分流地质潜在生源。部分国家的地质教育资源薄弱、师资不足、实验条件落后,也加剧了青年学习体验与专业认同感的缺失。

尤需关注的是,尽管不少欧美年轻人具有较强的环保意识,但他们往往因担忧从事采矿、油气等行业可能破坏环境,进而对地球科学产生误解与排斥。事实上,地球科学作为连接人类与地球系统的中介学科,对于实现《巴黎协定》目标、减少灾害风险、推进SDGs的落实至关重要。提升青少年对地球科学的全面认知、打破刻板印象,是未来地质教育转型的关键一环。

3 数字革命下地球科学领域的应对

近年来,全球范围内地球科学相关高校院系的关停与重组并非偶然事件,而是历史周期性波动与时代结构性变革共同作用的结果。回顾地球科学的发展历程,类似的兴衰更替曾多次出现,其背后深刻地映射出社会需求、科技革命与教育模式之间的动态演化关系。当前,数字革命引发的范式转移正将地球科学教育推入“技术滞后-资源流失-吸引力下降”的负循环之中。要打破这一困境,必须以系统性视野推进学科重塑。面对前沿技术带来的挑战与机遇,高校与科研机构亟需在组织架构、人才培养体系与研究范式等关键环节进行深度重构,提升整体学科竞争力与社会响应能力。

与此同时,地球科学的研究对象具有高度复杂性和多尺度耦合特征,单一学科或孤立机构已难以应对全球变化、资源调配和环境演化等重大科学议题。因此,构建跨学科研究机制与全球数据共享平台,正成为推动地球科学转型的核心路径。这不仅要求学术界突破固有学科边界,更呼唤政府、企业与科研机构之间建立战略协同关系,以实现科技创新、教育改革与社会服务的高效联动。

3.1 高校与科研机构的调整

面对快速演化的技术生态与社会需求的深度重构,全球多所知名高校与科研机构正以前瞻视角启动地质教育的重

塑行动。本节将通过教育范式改革,到学科和院系重组,再到数字化技术应用到地质教育中等方面阐述对打造面向未来的地球科学人才的教育生态系统的展望。

3.1.1 教育模式改革——斯坦福2025计划

2014年,斯坦福大学启动“斯坦福2025计划”(https://www.stanford2025.com/),提出重塑高等教育体系以适应数字技术快速发展和未来社会的不确定性。“开环大学”(open loop university)作为其核心理念,打破了传统连续四年线性学制,允许学生在其一生中灵活安排累计6年的学习期,实现教育与实践的动态循环。此举不仅为终身学习提供了制度化支持,也促成了知识生成与社会实践之间的多轮迭代,推动学生在个性化轨道中实现能力跃迁。此外,“开环大学”计划下的师资队伍注重多元化生态,包括建构跨校、跨国人才的师资矩阵,以跨界思维破解复杂难题,例如引入谷歌首席科学家、SpaceX推进系统工程师等担任实践教授,其“技术转移办公室”成为硅谷初创企业的核心智库。

开环模式取消年龄与背景限制,鼓励多样化学习和教育主体进入高教系统,同时强化跨学科融合与个性化课程设计,使学习内容紧扣社会挑战与学生兴趣,全面提升学习的灵活性与适应性。对于以复杂系统为研究对象的地球科学而言,斯坦福模式为构建多维知识结构、培育复合型人才提供了现实启示。

3.1.2 跨学科融合和地学院系重组

(1) 斯坦福杜尔可持续发展学院^[25-27]的成立及其战略框架。2022年,斯坦福杜尔可持续发展学院正式成立,是斯坦福大学在近70年来首次新设学院。该学院的设立旨在加速解决全球气候危机,专注于应对人类面临的可持续发展挑战。主要捐赠者John Doerr在接受采访时表示:“斯坦福大学正在做出大胆、可行且持久的承诺,以应对人类面临的巨大挑战,我们对其雄心壮志和能力充满信心。气候与可持续发展将成为‘新的计算机科学’。”斯坦福大学校长Marc Tessier-Lavigne指出:“这些捐赠将助力学校全力以赴解决气候与可持续发展中最复杂的问题,并培养那些渴望且有动力应对这些挑战的下一代学生。”

在全球多所高校因资金削减等因素关停或缩减地学系/学院的背景下,斯坦福大学地球科学领域启动转型,成立杜尔可持续发展学院,聚焦气候变化、地球与行星科学、能源技术、可持续城市发展、自然环境、食品与水安全、人类社会与行为、人类健康与环境八大领域的协同研究。学院采用独特的“三分结构”(图2)。

① 学术部门:初期从原地球、能源与环境科学学院(斯坦福地球学院)及其他学院选拔约90名教师(原斯坦福地球学院正式关闭),10年内计划再新增60人,覆盖八大领域广度;早期招聘重点聚焦能源、气候科学、可持续发展、环境保护领域;由美国能源部顾问委员会成员、ARPA-E创始主任Arun Majumdar担任首任院长,其学术背景横跨工业界、国

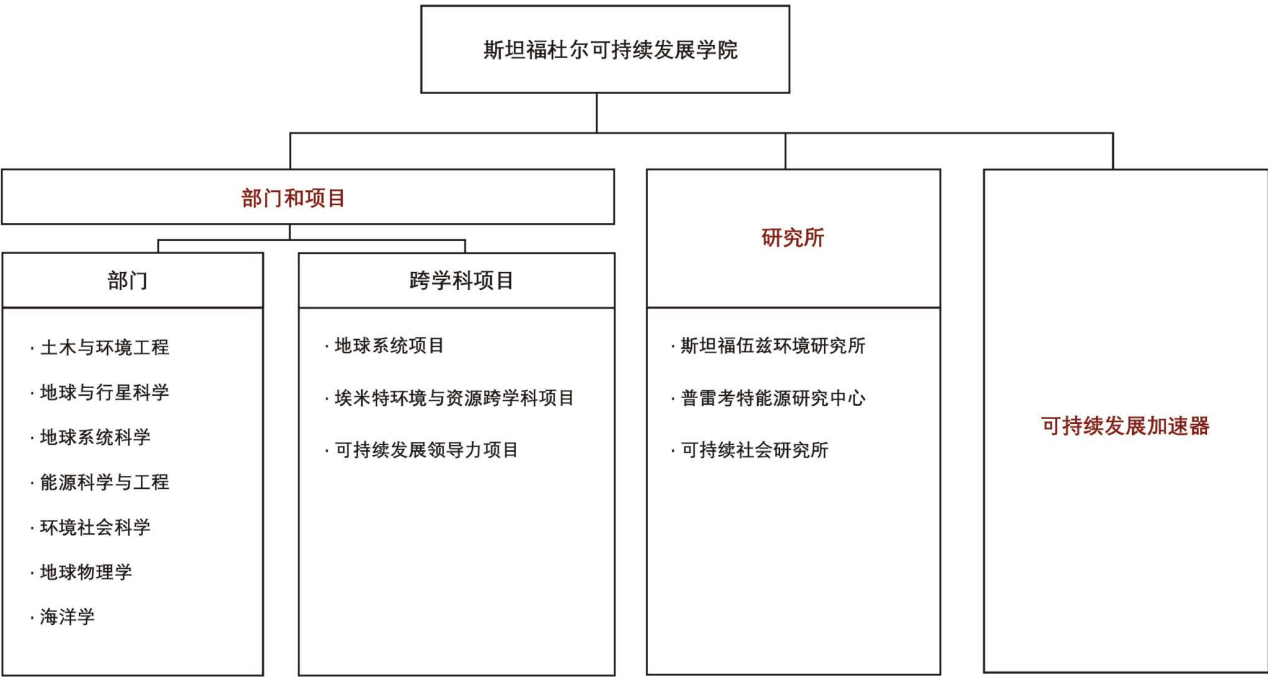


图 2 斯坦福杜尔可持续发展学院组织架构图
Figure 2 Organizational diagram of the Stanford Doerr School of Sustainability

家实验室及政府部门。

② 跨学科研究机构: 该机构将在斯坦福大学各学院之间搭建桥梁, 促进不同专业领域之间的知识共享与解决方案的开发合作。现有的斯坦福Woods环境研究所和Precourt能源研究所都将纳入新学院体系。此外, 还将成立新的可持续社会发展研究所, 加强对体制与经济基础设施以及向更可持续生活方式过渡等关键问题的关注。

③ 可持续发展加速器: 新成立的“可持续发展加速器”将致力于推动政策与技术解决方案的研究与实施。它将通过提供实验室、工具以及各领域专业知识, 帮助研究人员改进和扩展实验原型, 从而推进高潜力技术的研究与发展。该加速器还将为跨学科的可持续性技术、政策与创新提供资助, 并通过与外部社区的合作, 强调可衡量的影响力, 直接满足政府、行业以及其他外部实体的需求。

(2) 爱荷华大学文理学院重组。在面向可持续发展的大背景下, 美国爱荷华大学(University of Iowa)文理学院(College of Liberal Arts and Sciences, CLAS)计划将地球与环境科学系(Department of Earth and Environmental Sciences)和地理与可持续性科学系(Department of Geographical and Sustainability Sciences)合并为一个新的学院——地球、环境与可持续性学院(School of Earth, Environment, and Sustainability)^[28]。这一重组计划旨在与大学的战略规划保持一致, 确保文理学院能够更好地满足当前及未来学生的需求, 并为所有项目的发展提

供支持。

根据CLAS院长Sara Sanders的说法^[28], 创建地球、环境与可持续性学院的目标是为学院在环境与可持续性领域提供一个明确的焦点, 为对环境工作感兴趣的学生提供一个明确的入口, 引导他们进入社会科学或自然科学方向的相关专业。如果重组计划获得批准, 地球与环境科学系和地理与可持续性科学系将关闭, 其教职员工和项目将重新整合到新的学院中。这一合并将使爱荷华大学在环境领域的工作更具影响力, 因为这两个系的教职员工已经在频繁开展跨学科合作。

新的学院将提供多个新的学位项目, 包括环境政策与规划学士、地理学硕士和博士学位、环境科学学士和理学士、地质学硕士和博士学位。此外, 学院还将新增地理与可持续性科学学士和理学士学位, 以及一个新的地球与环境科学专业, 该专业将由环境科学项目转移到学院后与现有的地质学学位合并而成。

3.1.3 浙江大学基于数字化技术的高校管理: 构建现代治理新范式

在数字革命时代高等教育转型发展的背景下, 浙江大学充分发挥数字技术赋能效应, 围绕“综合型、研究型、创新型大学”的战略定位, 持续推进高校治理体系和治理能力现代化, 探索出一条具有示范意义的数字治理路径^[29]。

(1) 数字新基建和“五大空间”: 全面数字赋能。以“浙大钉”(移动端)和“浙大服务”(PC端)为统一入口, 打造“校园大

脑”核心平台, 下设五大数字空间: (i) “现代治理空间”: 支撑行政协同管理; (ii) “教育教学空间”: 服务教学与学习; (iii) “科研创新空间”: 赋能科研全流程管理; (iv) “学科发展空间”: 支撑“双一流”建设与学科资源配置; (v) “全球开放空间”: 推动国际化办学与全球协作。底层依托云计算、大数据、AI等“数字新基建”, 实现跨校区统一管理, 支撑信息化场景建设。

(2) “四个一”工程: 重塑管理流程。通过“四个一”工程实现业务流程实现: (i) “一事”: 打破传统“分段式”办公模式, 实现“一件事”一次办; (ii) “一表”: 整合重复表单, 推行“一张表”填报, 减少填报成本; (iii) “一平台”: 统一移动端与PC端服务入口; (iv) “一库”: 建立公共数据库, 统一数据标准。以“减负、提效、集成、智能”为目标, 实现流程与数据融合^[30]。

(3) “智云课堂”: 推动教学数字化升级。打造“智云课堂”系统, 具备语音识别、实时翻译、字幕跟踪、PPT识别、课堂互动、跨班授课等智能功能, 覆盖800间教室: (i) 录播课程超2万门次, 累计观看149.9万小时; (ii) 日均访问超4.4万次, 直播课程2000学时, 观看量147.9万人次。系统极大提高了教学覆盖面与交叉学科融合度, 有效支撑了远程教学、翻转课堂和教学共享。试点成效显著: 不及格率下降、优秀率提升, 94%学生支持过程性评价, 77%认为学习主动性增强^[31]。

(4) 大数据赋能教师画像: 精准了解与管理。浙江大学引入大数据分析技术, 对教师的教学与科研表现进行多维度量化评估, 自动形成“教师画像”, 主要包括: (i) 教学能力维度, 包括教案设计、课堂互动、教学先进性、亲和力等; (ii) 科研能力维度, 包括创新性、国际性、成果转化、应用潜力等。通过“可视化”呈现教师优势与特长, 便于学生快速了解导师信息, 也为教学激励和科研管理提供数据支持^[32]。

总的来说, 浙江大学通过数字平台整合、数据驱动决策、服务一体化重塑等措施, 打造了一个覆盖治理、教学、科研、服务全域的“数智校园生态系统”。这一系列举措, 构成了高校数字化转型的“浙江大学样本”, 不仅提升了内部管理效能和师生获得感, 也为全国高校提供了值得借鉴的范式^[29-32]。

3.2 政府与科学群体: 协同推动地学数字化基础设施建设

在日益复杂的全球科学议题背景下, 构建面向未来的地学研究 and 教育平台已超越单一学术机构的能力范围。以政府为引导、科研组织为主体、企业与高校广泛参与的多元协同机制, 正成为教育、科技、人才“三位一体”协同融合发展进程中的关键。

3.2.1 “地球立方体”(EarthCube)和“人工智能与地球科学合作”(CAIG)计划

近年来, 数据科学的发展正日益成为地球科学研究范式变革的重要驱动力。面对高维、多源、异构的观测、实验与

模拟数据, 传统的数据管理和科研基础设施已难以满足现代地学研究对系统性、开放性与智能化的需求。为响应这一挑战, 美国国家科学基金会(NSF)于2011年启动了“地球立方体(EarthCube)”项目(<https://www.nsf.gov/funding/opportunities/earthcube>), 设想是“寻求变革性的概念和方法来创建跨地球科学的综合数据管理基础设施(NSF seeks transformative concepts and approaches to create integrated data management infrastructures across the Geosciences)”, 其本质上是构建一个跨学科、可互操作、面向未来的网络化数字基础设施平台, 以服务日益复杂的地球系统科学问题。该项目由NSF地球科学理事会(GEO)与先进网络基础设施办公室(ACI)联合发起, 着力营造低门槛、高协同的科研环境, 提升地学研究人员与教育工作者的数字能力与生产力。而EarthCube(<https://www.earthcube.org>)的愿景在于打破地球科学不同子领域之间长期存在的“数据孤岛”问题, 推动信息流通与科研合作的根本性转变。其核心目标是通过构建统一的数据管理体系, 使科研人员能够全面理解并预测地球系统的动态响应过程, 从空间-大气边界到地球内核, 涵盖大气圈、水圈、生物圈、岩石圈等多个圈层系统。这一体系的设计强调数据的可发现性、可获取性、可互操作性与可重用性(FAIR原则), 并致力于推动开放科学文化在地学领域的制度化发展。

在组织架构上, EarthCube采用社区驱动的治理机制, 建立了由领导委员会(Leadership Council)、数据设施委员会(Council of Data Facilities)、项目资助委员会(Council of Funded Projects)、科学参与团队(Science and Engagement Team)、提名委员会(Nominations Committee)及技术与架构委员会(Technology and Architecture Committee)构成的多层次协调体系。该治理体系不仅确保了技术开发与科学需求之间的持续对话, 也通过鼓励广泛的社区参与提升了平台的生命力与适应性。在项目推进过程中, EarthCube与美国地球物理联合会(AGU)、Arctic Data Center、DesignSafe等十余家国家级科研机构形成战略合作, 共同构成数据设施委员会, 推进数据基础设施建设。

过去十余年, EarthCube已产出包括StraboSpot、Macrostrat、LinkedEarth、eODP、GeoDeepDive等在内的二十余个具有代表性的数据平台与软件工具, 广泛应用于地质、古气候、构造、地球化学与海洋科学等研究领域。其中, Macrostrat作为最具影响力的成果之一, 集成了北美、南美、新西兰及IODP计划的数十万个地层单元与古生物化石记录, 支撑了全球尺度下的地壳演化分析, 并衍生出大量高水平科研论文。这些成果不仅提升了地学数据的组织效率与分析深度, 也促进了跨机构、跨尺度的研究协同与科学知识再生产。

近年来, EarthCube的发展还体现出与人工智能(AI)技术的深度融合趋势。2023年起, NSF的地球科学理事会、计算机与信息科学与工程理事会、数学和物理科学学部在其基础上发起了“人工智能与地球科学合作研究(Collaborations

Artificial Intelligence Geosciences, CAIG)”专项(<https://www.nsf.gov/funding/opportunities/caig-collaborations-artificial-intelligence-geosciences>),旨在推动AI在地震预测、地下水建模、地貌识别、古气候重建、深海探测等方向的创新应用。据统计,该计划已资助超过120个项目,总资助金额接近8000万美元,其中2024年单年即投入2000万美元支持25项重点课题,涵盖加州大学系统、斯坦福大学、加州理工学院等顶尖机构。这一趋势标志着智能化正在成为地学研究基础设施的新动能,推动EarthCube平台从“数据互联”迈向“知识智能”的关键跃迁。需要指出的是专项设立之初预计批复项目数量10~15个,预计批复总经费为600万~1000万美元。而随着项目的持续开展NSF打破原来资助计划,CAIG目前资助总经费约为7980万美金,总项目数量123项,即资助的总经费增加了近8倍,资助的项目数量也增加了近10倍,反映了NSF在CAIG逐步推进中愈发认识到人工智能对推动地球科学发展的重大意义和光明前景。

值得注意的是,EarthCube资助的项目中,已经有很多在地学教育领域做出了探索和成果,如StraboSpot平台在新冠疫情背景下,迅速号召社区资源共建线上解决方案,联合多方推出一系列虚拟野外教学活动,并将StraboSpot平台重新包装为在线教学工具^[33];Project Pythia是EarthCube资助的开源教育项目,通过该项目可以使得不熟悉计算机编程系统(如Python等)的地学师生,发生从初学者到逐步掌握再到熟练掌握的转变^[34]。不仅如此,在后续CAIG执行期间,其在下设的项目中重点强调了需将人工智能等关键技术方法与地学主题结合,为处于职业生涯各个阶段的地球科学家提供教育和培训(https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AW-D_ID=2425908)。这都体现出美国NSF在数字时代背景下高度重视推进人工智能等关键技术在地学教育领域的布局,并最终搭建完备的数字地学教育和科研生态系统。

3.2.2 深时数字地球国际大科学计划(Deep-time Digital Earth, DDE)

2015年10月,习近平总书记在党的十八届五中全会上提出要“积极提出并牵头组织国际大科学计划和大科学工程”;2021年5月,习近平总书记在中国科学院第二十次院士大会、中国工程院第十五次院士大会、中国科协第十次全国代表大会上强调“要深度参与全球科技治理,贡献中国智慧,塑造科技向善文化理念,让科技更好增进人类福祉,让中国科技为推动构建人类命运共同体作出更大贡献!”。这些重要论述为我国开展国际科技合作、参与和牵头组织国际大科学计划和大科学工程指明了方向,提供了根本遵循。2018年,以王成善为首的中国科学家率先在国际上提出了以协同地球演化全球数据、共享全球地学知识为使命,推动地球科学研究范式变革为愿景的“深时数字地球”国际大科学计划倡议,该计划英文为“Deep-time Digital Earth”,简称DDE计划。自2018年启动筹备以来,DDE历经酝酿、发起、组织搭建与全

球启动四个阶段,并于2023年正式进入国家立项的全面实施阶段。作为国际地质科学联合会(IUGS)首个认可的国际大科学计划,DDE不仅是我国首个牵头立项并正式组织实施的国际大科学计划,也承载着引领全球深时地学数据标准制定与科技治理规则重构的战略使命。

该项目于2019年在北京召开首次国际启动会议,吸引了来自24个国家的科学家代表,涵盖58场专题会议和12个国际机构合作协议,标志着DDE正式进入全球共建、共享、共治的发展格局。DDE的三大核心任务——科技创新、科技改革与科技外事——分别聚焦于提升地球科学的原始创新能力、重塑科技政策与制度机制,以及通过国际合作输出治理范式与制度影响力。其目标不仅在于开展深时地球系统科学的前沿研究,也意在构建全球地学大数据基础设施的新范式,为国际大科学治理提供“可复制、可推广”的中国方案。

地球起源与演化是自然科学三大基本科学问题之一^[16],也是这三大科学问题的核心。继16世纪哥白尼日心说后,18世纪深时概念的提出是人类时空观的另一个巨变。地球是一个复杂的四维动态系统,研究地球除了现代地球深空、深海、深地三维空间系统外,还包括了46亿年地球演化史的时间维系统——深时系统^[16,35]。相较于传统的地质研究,数字革命时代下,结合数字化技术启动全球“深时”研究,具有重大的科学意义和现实价值。DDE计划旨在通过全球科学家和机构协作,围绕地球演化这一科学命题,运用人工智能、大数据、超算等现代技术,整合过去数十亿年地球时空大数据,构建地球科学全领域知识图谱,建立全球共享式处理分析平台,研究生命演化、地理演化、气候演化与物质演化相关重大科学问题^[36]。

在平台建设方面,DDE已经开发出一系列代表性数据基础设施,即DDE大平台(<https://deep-time.org>)。其中,古地理学科平台实现了百万年时间尺度数据在网页端的实时旋转、重建与交互分析,构建起支持多需求、多尺度模拟的一站式古地理还原系统;DDE-Outcrop 3D平台提供了丰富多样的地质露头数据,其团队在亚洲、非洲、欧洲三大洲的12个国家收集了123个经典地质露头数据,总数据量达到7200 GB,为地质学教师、学生和科研工作者提供了广泛的案例和素材。其次,平台实现了数据共享与信息集成,用户可以上传、查看和分享地质露头的相关内容,如描述、图片、视频和地质图等,方便了教学资源的整合和学生的自主学习。此外,平台提供高精度的3D地质露头模型和强大的可视化功能,结合地理信息,使地质结构和现象更加直观,有助于学生理解复杂的地质概念。最后,作为一个协作平台,DDE-Outcrop 3D支持师生之间的数据共享和交流合作,促进了在地质学教育中的互动与创新。此外,DDE还推动了一系列全球尺度数字地学产品的发布。例如,“全球1:500万世界地质图”项目通过构建全球首个多边形拼接无缝地质图数据库,在构图精度、信息一致性与区域整合方面显著超越传统静态地质图,为全球

陆地与海洋构造关系研究提供了统一数据基底。项目成果被 *Science* 专题报道^[37], 认为其是“百年来全球地质图标准化进程的重要里程碑, 是作实现了世界地质图编制委员会 (CGMW) 百年前初心的工作, 也彰显了数字化在地球科学基础性工程中的变革性作用”。

作为以“全球合作、标准先行、平台赋能”为核心理念的大科学计划, DDE 在实施过程中高度重视国际协同机制的建设。目前, DDE 已经建立起由来自五大洲数十个国家和地区的科研机构、政府部门与专业组织共同参与的工作网络, 推动包括数据模型互操作、本体构建、元数据规范与知识图谱等关键技术标准的统一。为保障多源异构地质数据在不同国家之间的无缝对接, DDE 提出了“数据语言互通—科学语义互认—智能服务共享”的技术路径, 尝试突破现有数据基础设施以项目、区域、语种为单元的碎片化局限, 构建具备全球适配性的深时数据知识体系。*Science* 报道称 DDE 正在打造一站式“地学谷歌”^[36]。

更为重要的是, DDE 正逐步构建起一个服务于下一代“智能地学”(Intelligent Geosciences) 研究范式的公共基础设施平台。在深时数据知识体系、语义网、地球大模型与 AI 工具链的基础上, DDE 面向构造、生物、沉积、气候等多个子学科开发出“知识-模型-应用”联动机制, 推动传统地学从基于观测的经验归纳走向基于知识的预测模拟。在此框架下, 平台不仅是数据的聚合器, 更是知识推演与决策辅助的智能载体, 十分可喜的是, DDE 创建的公共基础设施平台已成为联合国教科文组织向全球推荐的平台。这一变革意味着, DDE 不仅作为一个数据基础设施系统而存在, 更作为“数字地球观”与“智能科学观”在地球系统研究领域落地的战略支点, 成为全球未来大科学系统工程演化方向的重要预演与试验场。

4 建议与展望

在数字革命和社会发展深刻改变知识生产和人才需求结构的时代背景下, 传统地球科学人才培养模式正面临前所未有的变革压力。地球科学作为基础性、战略性与应用性高度耦合的学科, 其教育体系与人才结构亟需从根本上实现范式重构, 以回应新一代科技革命所带来的挑战与机遇。本文基于前述研究与全球地学教育实践, 提出围绕“传统培养体系重构”与“新型数字化地球科学人才塑造”两大核心, 推动学科教育理念、体系、机制与政策的全面升级。

首先, 面对地球科学教育与研究中出现的资金削减的问题, 其根源在于高校财务困境和政府政策调整, 以及对地球科学重要性认识不足。因此, 我们建议: (1) 政府应重新审视地球科学的战略价值, 将其视为应对全球气候变化、资源短缺等挑战的关键学科, 增加专项科研经费支持并设立专项资金与人才计划, 同时调整高等教育经费分配政策, 支持高校建立面向未来地学场景的试验班、交叉平台与技术课程;

(2) 高校和科研院所应优化资源配置, 避免盲目削减地学专业。可以通过跨学科合作、资源共享等方式, 降低运营成本, 同时积极拓展外部资金来源, 如与企业合作开展应用研究项目, 争取更多社会捐赠和支持; (3) 加强国际地球科学教育与研究的合作, 共享资源与经验。例如, 通过推动和参与国际大科学计划吸引国际资金与人才, 提升地球科学的国际影响力。

其次, 地球科学专业在青少年群体中的吸引力持续下降, 主要原因包括中小学课程体系中地球科学的边缘化、公众对地学职业前景的误解, 以及数字技术等热门专业的竞争。因此, 我们建议: (1) 在中小学阶段增加地球科学的课程比重, 通过生动有趣的教学方式(如实地考察、科普讲座等)激发学生兴趣。同时, 将地球科学与可持续发展、环境保护等热点话题相结合, 让学生认识到该学科的重要性和现实意义; (2) 通过媒体、科普活动等多种渠道, 向公众宣传地球科学在应对全球性挑战中的关键作用, 纠正对地学职业的片面认知。例如, 展示地球科学家在气候变化研究、灾害预警、资源可持续利用等方面的重要贡献, 吸引更多青少年投身该领域; (3) 高校可以与相关企业合作, 使用人单位应深度参与人才培养全过程, 从需求端反馈课程设计与技能训练, 提升人才培养与产业实践的耦合效率。同时也为学生提供了实习机会和职业发展指导, 让学生提前了解地学职业的实际需求和前景, 增强其对专业的认同感。

然后, 数字技术的快速发展为地球科学带来了前所未有的机遇, 但同时也对其传统的教育模式、研究范式和人才培养体系提出了挑战。目前, 地球科学在数字化转型过程中仍面临技术滞后、资源流失、吸引力下降等问题。因此, 我们建议: (1) 借鉴斯坦福大学“斯坦福2025计划”等先进经验, 大力推进教育体制开放, 允许学生从学业和工作领域来回切换, 使之更了解社会需求和学科的结合点, 在确保个人就业的前提下, 促进地学研究成果高效率的转化; (2) 打破传统学科界限, 推动跨学科融合。推动“项目导向+任务驱动+团队协同”的教学实践; 打破学院壁垒, 引入大数据、人工智能、云计算等数字技术相关课程资源, 形成真正复合型人才培育机制, 利用数字化教学平台(如浙江大学的“智云课堂”)从教学内容、课程体系、师资结构到评价方式进行全链条改革, 提升教学效果和学习体验; (3) 加强地球科学与信息科学、工程技术等领域的深度合作, 构建跨学科研究团队和协同创新平台。例如, 参考“地球立方体”(EarthCube)等项目, 由政府层面设立重大研究计划, 推动数据共享与协同研究, 提升地球科学研究的效率和水平; (4) 积极参与国际大科学计划(如“深时数字地球”计划), 推动全球地学数据标准的统一和共享平台的建设。通过国际合作, 提升我国在地球科学领域的国际话语权和影响力, 同时为全球地球科学研究提供中国智慧和方案。

最后, 重塑地球科学人才培养体系的本质在于确立“未来

导向型教育”的战略自觉,打破传统边界,以颠覆性理念重构知识生产模式,以科技赋能重塑教育生态,以全球协作应对人类共同挑战。展望未来,随着全球对可持续发展的重视,地球科学的战略地位将愈发凸显。在数字技术的推动下,地球科学研究将更加依赖数据驱动和模型模拟,教育模式将更加注重培养学生的数字能力和创新思维。通过国际合作与标准

制定,地球科学将构建起更加高效、开放的全球研究与教育生态系统,为应对全球性挑战提供有力支持。未来,地球科学有望重新成为青少年眼中的热门专业,培养出更多既具备专业知识又富有社会责任感的复合型人才,为全球可持续发展贡献力量。

推荐阅读文献

- 1 Research Group on Earth Science Development Strategy. Development Strategy Report of Earth Science in China in the 21st Century (in Chinese). Beijing: Science Press, 2009 [地球科学发展战略研究组. 21世纪中国地球科学发展战略报告. 北京: 科学出版社, 2009]
- 2 Macilwain C. Geological programmers come under threat. *Nature*, 1994, 372: 715
- 3 Bierman P. A department terminated. *Science*, 2021, 371: 434
- 4 Wang T F. Social change and social research in the digital age (in Chinese). *Soc Sci China*, 2021, (12): 73–88, 200–201 [王天夫. 数字时代的社会变迁与社会研究. *中国社会科学*, 2021, (12): 73–88, 200–201]
- 5 Zhang Z, Wang Y. A spatiotemporal model for global earthquake prediction based on convolutional LSTM. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2023, 61: 1–12
- 6 Li S Z, Suo Y H, Dai L M, et al. Meta-Earth and Digital Twin: breakthrough concept, technological revolution and paradigm shift (in Chinese). *Earth Sci Front*, 2024, 31: 46–63 [李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 等. 元地球与数字孪生: 思想突破、技术变革与范式转换. *地学前缘*, 2024, 31: 46–63]
- 7 Holden C. Job prospects on shaky ground. *Science*, 1994, 266: 1316
- 8 Huntley E R, Rosenblum M. The Omega affair: discontinuing the University of Michigan Department of Geography (1975–1982). *Ann Am Assoc Geographers*, 2021, 111: 364–384
- 9 Phil A. Global geoscience enrolment. *Geoscientist*, 2023. <https://geoscientist.online/sections/unearthed/global-geoscience-enrolment/>
- 10 Boone S, Quigley M, Betts P, et al. Australia’s unfolding geoscience malady. *EOS*, 2021, 102
- 11 Kate S. Australia badly needs earth science skills, but universities are cutting the supply. *The Conversation*, 2021. <https://studyinternational.com/news/earth-science/>
- 12 Lahiri - Dutt K. “Academic war” over geography? Death of human geography at the Australian National University. *Antipode*, 2019, 51: 858–877
- 13 Klaus S. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. In: Simsek Z, Heavey C, Fox B C, eds. *Handbook of Research on Strategic Leadership in the Fourth Industrial Revolution*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2024. 29–34
- 14 Hodson R. Digital revolution. *Nature*, 2018, 563: S131
- 15 Tony H, Stewart T, Kristin M T. *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*. Washington DC: Microsoft Research, 2009
- 16 Wang C, Hazen R M, Cheng Q, et al. The Deep-Time Digital Earth program: data-driven discovery in geosciences. *Natl Sci Rev*, 2021, 8: nwab027
- 17 Science/AAAS Custom Publishing Office. Beyond boundaries: GeoGPT’s evolution in geosciences. *Science*, 2024. <https://www.science.org/content/article/beyond-boundaries-geogpts-evolution-geosciences>
- 18 Voosen P. China’s GeoGPT led to firing of top European geoscientist. *Science*, 2024, 385: 12–13
- 19 Cao M C. The “Digital Twin Earth” of the globe (in Chinese). *Knowledge is Power*, 2023, (10): 30–33 [曹美春. 地球的“数字孪生兄弟”衰. *知识就是力量*, 2023, (10): 30–33]
- 20 Huawei Cloud Computing Technology Co., Ltd, Industry and Planning Research Institute of China Academy of Information and Communications Technology (CAICT). *Digital Twin Development Research Report* (in Chinese), 2024. <https://www.huaweicloud.com/about/apaasdigitaltwin.html> [华为云计算技术有限公司, 中国信息通信研究院产业与规划研究所. 数字孪生发展研究报告, 2024. <https://www.huaweicloud.com/about/apaasdigitaltwin.html>]
- 21 Anon. Geoscience on the chopping block. *Nat Rev Earth Environ*, 2021, 2: 587
- 22 National Research Council, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, Committee on Future Roles, Challenges, and Opportunities for the U.S. Geological Survey. *Future Roles and Opportunities for the U.S. Geological Survey*. Washington DC: National Academies Press, 2001
- 23 Jeff B. Geology students striking it rich. *NPR News*, 2008-3-21
- 24 Hamilton D K, Matos-Sharifan M. *Economic and Employment Impact of the Decline in Oil Prices*. Texas: Centre for Public Services, Texas Tech University, 2016

- 25 Amy A, Anneke C. Stanford Doerr School of Sustainability, university's first new school in 70 years, will accelerate solutions to global climate crisis. Stanford Report, 2022. <https://news-archive.stanford.edu/press-releases/2022/05/04/stanford-doerr-school-sustainability-universitys-first-new-school-70-years-will-accelerate-solutions-global-climate-crisis/>
- 26 David G. Stanford Gets \$1.1 Billion for new climate school from john doerr. The New York Times, 2022. <https://www.nytimes.com/2022/05/04/climate/john-doerr-stanford-climate.html>
- 27 Rachel R. Stanford University announces new climate change school with \$1.1 billion from renowned venture capitalist. CNN, 2022. <https://edition.cnn.com/2022/05/04/us/stanford-university-climate-school/>
- 28 Kate P. UI College of Liberal Arts and Sciences departments considered for restructuring. The Daily Lowan, 2024. <https://dailyiowan.com/2024/09/10/ui-college-of-liberal-arts-and-sciences-departments-considered-for-restructuring/>
- 29 Ministry of Education of the People's Republic of China. Zhejiang University is accelerating the creation of a new digital-era educational space by focusing on the development of "Online ZJU 2.0." (in Chinese). Newsletter, 2022. 19 [中华人民共和国教育部. 浙江大学以“网上浙大2.0”为抓手 加快打造数字时代办学新空间. 教育部简报, 2022. 19]
- 30 Hong B. Zhejiang University: governance of university affairs shifts from experience-driven to data-driven (in Chinese). China Education Network, 2022, (1): 68–69 [洪波. 浙江大学: 校务治理从经验驱动转向数据驱动. 中国教育网络, 2022, (1): 68–69]
- 31 Chai H F, Yang Y H, Dong R, et al. Exploration of smart classroom construction and blended teaching application—Taking the “smart cloud classroom” of Zhejiang University as an example (in Chinese). Modern Educat Technol, 2022, 32: 110–118 [柴惠芳, 杨玉辉, 董榕, 等. 智慧教室建设与混合教学应用探索——以浙江大学的“智云课堂”为例. 现代教育技术, 2022, 32: 110–118]
- 32 Shen L Y, Zhang Z H, Wang Y C, et al. Exploration of a new generation of smart campus based on 5G technology—Take the construction and application of the 5G new generation of smart campus in Zhejiang University for example (in Chinese). Modern Educat Technol, 2024, 34: 116–126 [沈丽燕, 张紫微, 王勇超, 等. 基于5G技术的新一代智慧校园探索——以浙江大学的5G新一代智慧校园建设与应用为例. 现代教育技术, 2024, 34: 116–126]
- 33 Kimberly M B. EarthCube's strabospot develops digital tools for geosciences educators. Earthcube, 2020. <https://www.earthcube.org/strabo-spot>
- 34 Zeng J H. NSF EarthCube Funded project pythia educates geoscientists on the popular python programming language. Earthcube, 2021. <https://www.earthcube.org/project-pythia>
- 35 Wang C S. Building competitive global technology public goods in the digital era—Focusing on the “Deep-time Digital Earth (DDE) international mega-science program” (in Chinese). China Institute for Innovation & Development Strategy, 2022 [王成善. 打造数字时代具有竞争力的全球科技公共产品——以“深时数字地球(DDE)国际大科学计划”为切入点. 中国国家创新与发展战略研究会, 2022]
- 36 Normile D. Earth scientists plan to meld massive databases into a ‘geological Google’. Science, 2019, doi: [10.1126/science.aax1577](https://doi.org/10.1126/science.aax1577)
- 37 Science/AAAS Custom Publishing Office. Mapping the world beneath our feet. Science, 2023. <https://www.science.org/content/resource/mapping-world-beneath-our-feet>

Summary for “数字时代背景下地球科学教育的若干展望”

Several prospects for geoscience education in the digital era

Chengshan Wang^{1*} & Hanwei Yao²

¹ School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

² Institute of Earth Sciences, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

* Corresponding author, E-mail: chshwang@cugb.edu.cn

As a foundational discipline dedicated to understanding the evolution of the Earth system, the distribution of natural resources, and environmental change, Earth science has always been closely intertwined with socioeconomic demands, humanity's quest to explore the unknown, and advances in technology. Although it has experienced periods of marginalization and even decline throughout history, its fundamental importance and strategic value have never been truly diminished. Entering the 21st century, the digital revolution is transforming global modes of production, social structures, and scientific research paradigms at an unprecedented pace. Technologies such as big data and artificial intelligence are redefining academic boundaries and creating both challenges and opportunities for the reinvention of traditional disciplinary frameworks. Earth science now stands at the forefront of this technological transformation, with its research and education undergoing renewed development and technical breakthroughs.

In this context, Earth science education is facing unprecedented challenges. Persistent reductions in educational and research funding, coupled with a significant decline in interest and enrollment among younger generations, have constrained the discipline's research depth, innovation capacity, and talent pipeline. Numerous universities worldwide have downsized or eliminated Earth science departments and programs. For instance, Macquarie University in Australia disbanded its related departments, and the COVID-19 pandemic led to widespread academic staff layoffs, severely affecting Earth science due to its lower enrollment rates and decreased public funding. Simultaneously, the appeal of Earth science majors among students continues to wane in many Western countries, largely due to its marginalization in primary and secondary education curricula, limited public awareness, competition from more popular disciplines, and underdeveloped educational resources.

In response, universities and research institutions across the globe are actively exploring strategies to revitalize the field. Stanford University launched the “Stanford 2025” initiative, aiming to restructure higher education in light of the rapid advancement of digital technologies and the uncertainties of future societies. The establishment of the Stanford Doerr School of Sustainability, which integrates climate change, Earth and planetary sciences, and interdisciplinary research, exemplifies a novel “three-part structure” approach. Similarly, the College of Liberal Arts and Sciences at the University of Iowa is merging departments such as Earth and Environmental Sciences to create new academic programs. In addition, building cross-disciplinary research frameworks and global data-sharing platforms has become a central strategy in the transformation of Earth sciences. Strategic collaborations among governments, enterprises, and academic institutions are being forged to enhance the efficiency of technological innovation, educational reform, and societal engagement.

In summary, Earth science education is undergoing not only a disciplinary reform, but also a paradigm shift driven by digital transformation and global-scale challenges. This transition demands strategic foresight, structural innovation, and international solidarity. By seizing the opportunities of the digital era and addressing its systemic challenges, Earth science can reclaim its central role in helping humanity confront an increasingly uncertain and complex planetary future.

geoscience education, digital revolution, artificial intelligence (AI), interdisciplinary talent cultivation, sustainable development, Deep-Time Digital Earth (DDE)

doi: [10.1360/CSB-2025-0506](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0506)