科学通报 2026 年 第 71 卷 第 19 期: 4475 ~ 4482
地球科学对人类文明发展的贡献专题 观 点
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

环境地球科学对人类文明的贡献

吴丰昌[1*], 朱永官[2*], 彭建兵[3*], 谷保静[4], 蒲晓[5], 刘羽[5]

1. 中国环境科学研究院, 环境基准标准与风险管控全国重点实验室, 北京 100012
2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085
3. 长安大学地质工程与测绘学院, 西安 710064
4. 浙江大学环境与资源学院, 土壤污染防治与安全全国重点实验室, 杭州 310058
5. 国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085
* 联系人, E-mail: wufengchang@vip.skleg.cn; ygzhu@rcees.ac.cn; dicexy_1@chd.edu.cn

1 环境地球科学简介

环境地球科学是以地球科学的理论、方法和手段, 研究在自然条件和人类活动影响下的大气圈、水圈、土壤圈、生物圈、表层岩石圈各自演化的物理、化学和生物过程以及各圈层之间的相互联系, 探索和解决人类面临的生态、健康、环境和灾害问题的学科. 它是地球科学的重要组成部分, 与生态学、环境科学、化学、生物学、地理学、工程学、医学、社会学等广泛交叉, 服务于生态环境保护、资源可持续利用、灾害防控、公共健康等领域[1,2]. 环境地球科学的核心使命在于探索和建设“宜居地球”, 满足人类对清洁空气、安全水源、健康土壤、稳定地质环境的基本需求. 近年来, 我国环境地球科学学科资助和发展体系不断完善, 为我国和全球的可持续发展提供了重要支撑[3].

在人类历史的漫长岁月中, 自然环境始终是文明兴衰的关键变量. 从美索不达米亚文明的灌溉农业到中华文明的大禹治水传说, 人类与环境的互动深刻影响着文明的轨迹. 中华文明在数千年的发展历程中, 形成了“天人合一”“道法自然”的朴素生态思想, 都江堰、灵渠等古代水利工程体现了中华民族顺应自然、利用自然、保护自然的卓越智慧. 然而, 在漫长的农业文明时代, 人类对自然环境的改造能力有限, 环境问题多表现为局部的资源枯竭和生态退化, 尚未形成系统的科学认知. 18世纪后半叶, 蒸汽机的发明和应用开启了人类大规模利用化石能源的时代, 人类活动逐渐成为强大的地质营力. 在随后近两百年的时间里, 人类以前所未有的速度和规模改造自然、攫取资源, 向生态系统排放了大量化学物质. 这种发展模式在创造空前物质财富的同时, 也带来了环境污染、生态破坏、资源枯竭、气候变化等一系列严峻挑战.

从19世纪中叶开始, 随着工业化进程加快, 环境污染问题日益凸显, 科学家们开始系统研究污染物在环境中的行为及其对生态系统和人类健康的影响. 20世纪中叶, 震惊世界的“八大公害事件”以惨痛的代价唤醒了人类的环境意识, 推动了环境地球科学的迅速发展. 1962年, 《寂静的春天》的出版标志着现代环境运动的兴起, 环境地球科学由此进入现代历史舞台. 此后, 该学科经历了从局部污染治理到区域环境管理, 再到全球系统治理的演变过程, 研究视野不断拓展,



吴丰昌 中国工程院院士, 中国环境科学研究院环境基准标准与风险管控全国重点实验室主任, 研究员, 博士生导师, “湖泊水环境质量演变与水环境基准研究”项目首席科学家. 主要从事湖泊污染机理与过程、水质基准和标准、风险评估, 及污染控制技术和管理等方面的研究.



朱永官 中国科学院院士, 发展中国家科学院院士, 研究员, 博士生导师, 中国科学院生态环境研究中心主任. 研究工作涉及土壤-植物-微生物相互作用与生源要素/污染物的循环与转化, 土壤-植物系统污染的生态和健康效应.

引用格式: 吴丰昌, 朱永官, 彭建兵, 等. 环境地球科学对人类文明的贡献. 科学通报, 2026, 71: 4475–4482
Wu F, Zhu Y, Peng J, et al. The contribution of environmental geoscience to human civilization (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 4475–4482, doi: 10.1360/CSB-2026-0475

© 2026《中国科学》杂志社



彭建兵 中国科学院院士, 长安大学/中国地质大学(北京)一级教授, 陕西黄河科学研究院院长, 中国地质大学(北京)地质安全研究院院长. 主要从事工程地质与灾害地质方面的科研教学工作, 围绕中游黄土高原滑坡灾害与下游华北平原地裂缝灾害开展了系统科学研究.

理论体系日益完善, 技术手段持续创新.

我国环境地球科学的发展与生态文明建设同频共振. 党的十八大以来, 生态文明建设被纳入“五位一体”总体布局, 美丽中国、健康中国和安全中国建设成为国家战略目标. 2026年3月, 我国《生态环境法典》的出台体现了宪法在生态文明制度规定方面的全面有效实施. 环境地球科学源于如何处理人与自然关系的研究, 是生态文明建设和可持续发展的核心基础学科. 例如, 京津冀统筹山水林田湖草沙“大环保”系统治理, 区域生态环境质量同步改善, 体现出环境地球科学在推动我国生态文明建设中不可替代的作用.

正如罗马俱乐部在《增长的极限》中所警示的, “没有环境保护的繁荣是推迟执行的灾难”[4,5]. 环境地球科学正是帮助人类避免这一灾难、走向可持续发展道路的关键力量. 进入21世纪, 生态文明理念的兴起, 标志着人类开始重新审视自身与自然的关系, 寻求人与自然和谐共生的可持续发展道路[6]. 在人类文明从工业文明向生态文明转型的进程中, 环境地球科学承担着不可替代的重要使命: 揭示自然规律, 为人类认知地球提供科学基础; 发展技术方法, 为环境治理提供有效工具; 参与政策制定, 为可持续发展提供决策支撑; 推动国际合作, 为全球环境治理贡献中国智慧.

2 环境地球科学对人类文明的贡献分析

环境地球科学的发展深刻影响了人类社会的认知方式、治理体系与发展路径. 本文将环境地球科学在土壤生态环境与安全、水环境演变与生态效应、工程地质环境与灾害、环境污染与健康风险、区域环境与可持续发展、环境地球跨圈层探测与模拟等领域的贡献整合为四大核心主题, 系统阐述其推动人类文明发展的内在逻辑与历史意义.

2.1 建立了表层地球环境质量演化理论, 奠定了人类农业文明延续与生态系统健康的科学根基

环境地球科学在揭示土壤、水等表层地球环境介质的质量形成与演化规律方面作出了奠基性贡献, 并在此基础上构建了表层地球环境可持续利用与生态安全保障的完整科学体系, 为农业文明延续与生态系统健康提供了根本保障. 这一理论体系从表层地球系统宜居性的视角出发, 深刻阐释了环境质量对人类生存与发展的基础性支撑作用. 表层地球是大气圈、水圈、土壤圈、生物圈相互作用的核心区域, 也是人类文明孕育和发展的主要空间, 理解其环境质量演化规律, 对于人类认识自身生存环境、科学利用自然资源具有根本性意义.

土壤发生学理论认为土壤是在母质、气候、生物、地形和时间五种因素相互作用下形成的动态自然体[7], 确立了土壤作为独立自然体的科学地位, 为科学施肥、土壤改良和耕地保护提供了理论指导. 随后, 土壤圈层理论将土壤定位为地球系统中最为活跃的自然圈层, 是大气圈、水圈、岩石圈、生物圈协同进化的产物[8], 揭示了土壤通过物质与能量循环影响植被形成、水质变化与气体交换的机制. 土壤可持续利用理论将土壤肥力管理、污染修复与生态保护有机结合, 为全球粮食安全与农业绿色发展提供了科学支撑. 在土壤污染与风险管控领域, 环境地球科学揭示了重金属、有机污染物在土壤-植物系统中的迁移转化规律, 发展了土壤修复技术体系, 有效保障了农产品安全和人体健康. 联合国粮农组织将2015年定为“国际土壤年”, 主题为“健康土壤带来健康生活”, 正是对这一贡献的充分肯定. 随后, 我国分别发布了《土壤污染防治行动计划》(“土十条”)、《中华人民共和国土壤污染防治法》和《中华人民共和国黑土地保护法》, 这些政策和法律法规的制定无不凝聚着土壤环境科学的研究成果, 彰显了该学科在保障国家粮食安全与生态安全中的核心作用. 黑土地保护作为“耕地中的大熊猫”, 其保护与利用的科学实践, 正是表层地球环境质量演化理论服务国家战略的典型案例.

环境地球科学构建了从水循环到水环境化学再到水生态系统管理的完整理论体系, 为水资源可持续利用与水生态安全保障提供了科学基础. 法国科学家佩罗通过对塞纳河流域的系统观测, 首次定量验证了降水与径流的水量平衡关系, 奠定了现代水文学的科学基础[9]. 随后300年间, 线性渗流定律[10]、超渗产流理论[11]先后提出. 在水环境化学领域, 化学热力学[12]和化学动力学原理的引入, 为水处理技术与水生态修复奠定了理论基础[13]. 随着水环境问题的日益突出, 水环境复杂系统理论应运而生. 水环境微生物组学理论揭示了微生物群落结构与水环境质量的关联机制, 水-能-粮系统关联理论则为资源协同管理提供了新思路. 这些理论的建立与应用, 使人类从被动应对水污染走向主动管理水环境, 从单一介质治理走向多介质协同管控. 在我国, 长江、黄河两大流域的生态保护与高质量发展相继上升为国家战略. 《长江保护法》和《黄河保护法》的颁布实施, 标志着我国流域水环境治理进入法治化、系统化的新阶段, 这其中凝聚着环境水科学的重要研究成果, 也是表层地球环境质量演化理论在流域尺度上的成功实践.

环境地球科学揭示了碳、氮、磷、硫等关键元素的生

物地球化学循环规律，为农业可持续发展与生态安全保障提供了理论支撑．瑞典科学家阿累尼乌斯提出温室效应理论，指出二氧化碳等温室气体的增加会导致地球表面温度上升，开启了气候变化研究的先河[14]．德国化学家哈伯和博施发明的人工合成氨方法，极大地推动了氮循环研究的发展，也使氮肥的大规模生产成为可能．据统计，氮肥的生产和管理养活了全球近一半的人口，对保障粮食安全起到了至关重要的作用[15]．随着研究的深入，科学家逐步揭示了土壤中碳、氮、磷、硫等元素的转化过程与调控机制，推动了农业施肥管理与温室气体减排措施的优化，使人类能够在保障粮食产量的同时减少对生态环境的负面影响．

与此同时，环境地球科学也使人类深刻认识到，人类活动对元素循环的干扰已超越地球系统的安全边界．瑞典斯德哥尔摩环境研究所罗克斯特伦教授及其团队于2009年提出的行星边界理论，定义了气候变化、自然生态系统面积、氮磷循环等八个关键的地球系统边界[16]．这一理论框架为评估和指导人类活动对地球系统的影响提供了量化依据，成为可持续发展的重要理论基石．行星边界理论的提出，为量化人类活动对地球系统的影响提供了科学框架，催生了“星球健康”这一新的研究范式，强调地球自然系统的健康与人类文明的繁荣密不可分，要求从地球系统整体视角审视和应对环境变化、资源耗竭、生物多样性丧失等挑战[17,18]．这一研究范式与我国倡导的“人与自然和谐共生”理念异曲同工，都超越了传统环境保护的局限，将人类福祉置于地球系统健康的大背景下加以考量．正如“绿水青山就是金山银山”所揭示的，良好的生态环境本身就是人类文明永续发展的基础，新的研究范式为践行人与自然和谐共生提供了科学路径，也为全球可持续发展目标的实现注入了新的理论动力．

2.2 发展了工程地质环境理论与技术，保障了地球重大工程建设与人居安全

环境地球科学在重大工程地质环境理论与灾害防控技术方面作出了系统性贡献，构建了从岩土力学到工程地质学与灾害风险管理的完整技术链条，为人类生存空间的拓展与安全提供了科学保障，深刻影响了人类文明的空间形态与安全韧性．奥地利科学家太沙基提出的渗流固结理论奠定了现代土力学的基础[19]．随后，苏联地质学家萨瓦连斯基建立了工程地质的理论框架体系[20]．我国工程地质学家谷德振提出的岩体结构控制理论，成为工程稳定性分析的基础，推动了中国工程地质学的整体发展，在国际工程地质领域也具有重要影响[21]．在理论的进一步发展中，工程地质学家王思敬、张倬元提出了环境工程地质理论，学科逐渐成为了地球科学中连接地质、工程、环境的重要纽带[22,23]．随着联合国“国际减轻自然灾害十年”行动计划的提出，人类进入可持续发展的新时代，地质灾害逐渐成为学科重要分支并快速发展．以2008年汶川地震为标志，工程地质与环境灾害学进入快速发展阶段，逐步衍生出地质安全风险控制理论、地质灾害智能预警和绿色韧性防控理论，为减少地质灾害影响、保护人民生命财产安全提供了科学方法．

工程地质环境理论支撑了青藏铁路、三峡工程等国家重大工程的安全建设与长期运营，深刻影响了人类文明的空间形态[24]．青藏铁路是世界上海拔最高、地质条件最复杂的铁路工程，多年冻土、高寒缺氧、地震活跃等难题的攻克，离不开工程地质环境与灾害学科的理论支撑．这些超级工程的建成与安全运营，不仅改变了区域发展格局，更彰显了人类利用自然、改造自然、保护自然的综合能力，成为人类文明进步的重要标志．学科理论奠定的我国“以人为本、专群结合”防灾减灾理念正在成为全球共识，使近30年来全球自然灾害死亡人数减少了38%[25]，有力保障了人居安全与文明进步．在西南山区地质灾害高易发区，基于地质灾害智能预警理论建立的监测预警系统，实现了对滑坡、泥石流等灾害的早期识别和动态预警，显著提升了防灾减灾能力．在汶川地震灾后重建中，我国环境地球科学家提出了“避让优先、生态修复、工程保障”的综合防控策略，有效降低了次生灾害风险，保障了灾区人居安全．这些理论与实践的结合，不仅保障了人民生命财产安全，也为全球地质灾害防控提供了中国经验，体现了环境地球科学在保障人类文明安全发展中的不可替代作用．在我国城镇化进程加速的背景下，城市地质安全、地下空间开发、重大基础设施全生命周期安全管理等，都离不开工程地质环境理论与技术的持续创新与支撑，对建设安全中国具有重要的理论和实践意义．

2.3 揭示了环境污染健康风险机理，实现了人类-生物-环境一体化健康发展

环境地球科学在揭示污染物在环境中的迁移转化规律及其对人体健康的影响机制方面作出了开创性贡献，并在此基础上构建了人类-生物-环境一体化健康理论框架，为污染治理与公共健康保障提供了科学依据，筑牢了人居健康的安全屏障．1945年，瑞士环境化学家施瓦岑巴赫开展了污染物在水-岩石圈的迁移机制研究，相关理论被广泛用于地下水污染源的识别[26]．随后，加拿大科学家麦凯提出了基于逸度方法的多介质环境模型[27]．我国有机地球化学学科奠基人之一傅家谟院士，在污染物检测方法、迁移转化规律、健康危害以及控制技术方面也开展了大量开创性的研究工作[28]．这些理论和方法的发展，使人类能够定量描述污染物从排放源到暴露人群的全过程，为污染防控提供了科学依据，使人类从被动应对污染走向主动预防和控制．

环境地球科学揭示了环境暴露与健康效应之间的关联机制，为环境质量标准制定与风险管理奠定了基础．英国动物生态学家埃尔顿首次提出了食物链和食物网的概念，在生态农业建设和生态系统稳定性研究中广泛应用[29]．随后，生态毒理学开始注重研究自然或人为产生的污染物对人、动

物、植物和微生物等的毒性影响，被用于化学物质环境风险评估、污染物毒理学研究以及环境政策法规制定[30]. 进一步，研究开始拓展到人类和生态风险的系统评估，用于环境健康风险管理[31]. 这些理论的发展，使人类能够科学评估环境污染物对健康的潜在危害，为制定环境质量标准、设定安全阈值提供了科学依据，为保障公众健康作出了重要贡献.

20世纪中叶，日本水俣病事件因居民食用受汞污染的贝类和鱼类而中毒，成为世界级的环境公害事件. 揭示甲基汞在水生生态系统中的生物富集与食物链传递机制，为污染源追溯与健康风险防控提供了科学依据. 美国杜邦公司销售由氟化合物制成的特氟龙产品，生产过程中的一种关键原料全氟辛酸可能给人类健康带来潜在危害. 随后，大量研究证据表明了全氟化合物的潜在健康危害，推动了全球范围内对这类新污染物管控的加强[32,33]. 洛杉矶光化学烟雾事件、伦敦烟雾事件等经典案例，也催生了空气质量标准的制定和机动车尾气排放控制，显著改善了城市空气质量，延长了人均预期寿命. 这些案例充分说明，环境地球科学在识别环境健康风险、推动污染治理、保障公众健康方面发挥着不可替代的作用.

进入21世纪，随着全球气候变化、新发传染病频发、新污染物不断涌现，人类健康面临更加复杂的挑战. 在此背景下形成的“一体化健康”理论，主张建立包括人、生物、环境乃至整个生态系统在内的整体健康观，通过多机构、跨学科、跨地域的协同合作，从“人类-生物-环境”健康的整体视角解决复杂健康问题[34]. 2022年，联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、世界卫生组织和世界动物卫生组织共同发起“一体化健康”行动计划，标志着这一理论从学术概念走向全球实践. 环境地球科学在这一理论框架中发挥着核心作用，通过揭示环境变化与疾病传播的关联机制、生态系统退化与健康风险的耦合关系，为应对新发传染病、抗生素耐药性、新污染物健康风险等全球性健康挑战提供了科学基础. 这一理论框架的构建，标志着环境地球科学在保障人类健康方面的贡献从末端治理走向系统防控，从单一介质走向整体健康，从局部应对走向全球协同，为人类文明的健康可持续发展提供了新的理论指引.

值得关注的是，基于人畜共患传染病防控而发展起来的“一体化健康”理论与星球健康框架在理念上高度契合. 两者均以社会生态系统为研究对象，强调人类、生物与环境之间的不可分割性，致力于寻求人与自然和谐共生的系统性解决方案. 一体化健康侧重于跨物种疾病传播的预防与控制，星球健康则从地球系统尺度审视人类文明的整体健康，二者互为补充、相得益彰. 在我国，健康中国、美丽中国与安全中国战略的协同推进，正需要整合这两种理论框架，构建从局部到全球、从当下到未来的全方位健康治理体系，环境健康研究已成为环境地球科学的重要前沿领域，为保障人民群众健康福祉提供了科学支撑.

2.4 拓展了地球系统认知边界，支撑了全球环境治理与国际规则制定

环境地球科学在跨圈层探测、模拟与预测领域的研究，深刻拓展了人类对地球系统的认知边界，并为全球环境治理提供了科学基础与制度支撑，在人类文明的思想演进与国际规则制定中发挥了引领作用. 环境地球科学推动了从单点观测到全球组网、从定性描述到定量模拟的历史性跨越，开拓了人类认知地球系统的全新视野. 挪威科学家皮耶克尼斯首次将天气预报问题转化为非线性偏微分方程组初值问题，为地球气候环境预测和研究奠定了基础[35]. 随后，地表形态计量理论被广泛应用于地貌形态分析、水土侵蚀研究、构造地貌研究和地貌预测等领域，支撑了多尺度环境水土模拟与预测工作的开展[36]. 随着计算机技术的兴起，数值模拟成为环境地球科学研究的重要手段[37,38]. 中国科学院大气物理研究所和清华大学全面开始共建以地球系统各圈层数值模拟软件为核心，软、硬件指标相适应的“地球系统数值模拟装置”，旨在研究地球系统各圈层的物理、化学、生物过程及其相互作用，实现对地球系统复杂过程在中尺度分辨率的定量描述与模拟[39]. 这些观测与模拟平台的建立，使人类第一次能够从系统层面理解地球各圈层的相互作用，为应对全球环境挑战提供了科学基础. 我国在这一领域持续发力，地球系统数值模拟装置的建成运行，标志着我国在全球环境模拟与预测领域进入世界前列.

环境地球科学的研究成果为国际环境公约的制定与实施提供了科学依据，深刻影响了人类文明的国际规则体系. 世界气象组织和联合国环境规划署共同建立了政府间气候变化专门委员会(IPCC)，系统梳理和评估人为气候变化的科学事实及其未来风险，传播相关知识，为国际社会和各国政府制定应对方案提供了重要依据[40]. 1992年，《联合国气候变化框架公约》达成，旨在控制温室气体排放，将其浓度稳定在气候系统免遭破坏的水平上. 2015年《巴黎协定》旨在使全球温室气体排放总量尽快达到峰值，实现将全球气温控制在高于工业革命前2℃以内. 在臭氧层保护领域，环境大气科学家发现了人为化合物氯氟烃导致平流层臭氧损耗的证据，推动了《蒙特利尔议定书》的签署，避免了工业产品中的氟氯烃继续破坏地球臭氧层[41]. 这一议定书被广泛认为是国际环境治理最成功的案例之一，体现了环境地球科学在推动国际规则制定中的关键作用. 我国作为负责任大国，积极参与全球环境治理. 我国提出的“双碳”目标，正是基于对全球气候变化科学认知的重大战略决策，彰显了中国在全球气候治理中的责任担当，在气候变化、生物多样性保护等领域发挥了重要的引领作用，为全球环境治理贡献了中国智慧和中国方案.

在环境思想启蒙与可持续发展理念形成方面，环境地球科学的影响甚至超越了自然科学范畴，深刻改变了人类文明

的价值取向. 《寂静的春天》以其深刻的思想启蒙作用推动了现代环境运动的兴起[42], 该书引发的现代环境运动实质上是一种科学的环境运动, 是科学强力介入和引导社会发展的表现形式, 为环境地球科学学科进入现代历史舞台提供了契机. 1987年《我们的未来》报告首次明确提出“可持续发展”概念, 成为后续可持续发展理念的重要基础[43]. 2015年, 联合国通过《2030年可持续发展议程》及其17个可持续发展目标, 标志着可持续发展理念成为全球共识, 其中有10个议题与环境地球科学密切相关, 也充分体现了该学科在推动人类文明发展模式转型中的核心作用. 2021年, 联合国发布《与自然和平相处》报告, 进一步推动全球环境治理和可持续发展进程. 这些里程碑事件表明, 环境地球科学不仅为人类提供了理解地球系统的科学知识, 更为人类文明的可持续发展指明了方向, 在人类文明的思想演进与国际规则制定中发挥了引领作用. 在我国, 生态文明理念的提出和践行, 是对可持续发展理念的深化和发展, 为全球生态文明建设贡献了中国智慧.

3 环境地球科学面向未来的责任与担当

当前, 全球气候变化、生物多样性丧失、新污染物风险、资源枯竭等问题日益严峻, 环境地球科学面临新的使命与挑战. 面向未来, 该学科将在以下方面继续发挥核心支撑作用:

(1) 深度融入国家生态文明建设战略, 为美丽中国建设提供系统性科学支撑与技术方案. 环境地球科学为解决环境问题而产生, 学科领域直接融入国家生态文明建设和经济社会建设决策, 对于维护环境安全、推进国家治理体系和治理能力现代化具有重要意义和深远影响. 从《土壤污染防治行动计划》到《黑土地保护法》, 从《长江保护法》到《黄河保护法》, 环境地球科学的研究成果为国家战略实施提供了科学依据. 未来, 环境地球科学学科将更加紧密地与国家战略需求相结合, 围绕碳达峰碳中和目标、流域综合治理、土壤污染管控、生物多样性保护等重大议题, 开展多圈层、多介质、多过程的系统研究, 形成从科学认知到技术研发再到政策制定的全链条支撑体系, 支撑中华文明的永续发展.

(2) 构建人类-生物-环境一体化大健康体系, 为提升公众健康福祉提供科学基础与技术保障. 大健康体系是建设宜居地球的重要内容, 而环境改善是大健康体系构建的根本. 环境地球科学通过提供区域环境问题系统解决方案, 为区域可持续发展及公众健康提供科学支撑. 在全球环境变化的背景下, 环境问题愈加复杂, 新污染物与传统污染物的复合效应、气候变化与疾病传播的关联机制、生态系统退化与健康风险的耦合关系等, 都对人类健康构成严峻挑战. 未来亟需深化“一体化健康”理论研究, 构建基于同一健康的治理体系框架, 发展污染物健康风险评估、暴露途径示踪、疾病与环境关联分析等关键技术, 建立跨部门、跨学科、跨地域的协同合作机制, 提升全球应对复杂多维健康威胁的能力. 环境地球科学将在这一进程中发挥核心作用, 为增进民生福祉作出新的贡献.

(3) 推动全球环境治理与国际科技合作, 为人类命运共同体建设贡献中国智慧与中国方案. 环境地球科学研究不仅限于学术和探索, 它还在全球范围内促进了重要多边环境公约或协议的制定及全球环境治理. 全球化背景下, 环境问题不再是单一国家或地区的问题, 而是全人类共同面临的挑战. 加强国际科技合作是未来学科发展的重要方向之一, 需要通过深化环境地球科学领域的国际合作, 积极参与IPCC、未来地球等国际科学计划, 发起和主导国际大科学计划, 不断提升我国在全球重大环境问题中的影响力和话语权. 从跨境河流治理到气候变化应对, 从生物多样性保护到新污染物管控, 从极地环境研究到海洋生态保护, 环境地球科学将继续为全球环境治理贡献中国智慧与中国方案, 推动构建公平合理、合作共赢的全球环境治理体系, 为建设宜居地球贡献科学力量.

4 总结

环境地球科学作为研究人与自然相互作用的核心学科, 在推动人类文明发展中发挥了不可替代的作用. 回顾该学科百余年的发展历程, 其理论体系的构建与实践应用的拓展, 始终与人类文明的需求紧密相连. 从表层地球环境质量演化理论到工程地质环境理论与技术, 从环境污染健康风险机理到地球系统认知边界拓展, 环境地球科学构建了系统的理论体系, 深刻拓展了人类对地球系统的认知边界, 支撑了重大工程建设、环境保护、公共健康与国际治理.

本文总结的四大贡献主题, 系统呈现了环境地球科学对人类文明的深远影响. 在建立表层地球环境质量演化理论方面, 环境地球科学奠定了农业文明延续与生态系统健康的科学根基, 使人类从被动依赖自然走向主动认知自然、科学利用自然的新阶段. 在发展工程地质环境理论与技术方面, 环境地球科学保障了重大工程建设与人居安全, 使人类能够在复杂地质条件下拓展生存空间、抵御自然灾害的威胁. 在揭示环境污染健康风险机理方面, 环境地球科学构建了人类-生物-环境一体化健康理论框架, 使人类从应对单一环境健康问题走向系统保障整体健康的新范式. 在拓展地球系统认知边界方面, 环境地球科学引领了全球环境治理与国际规则制定, 使人类从各自为政的环境管理走向全球协同的治理体系, 从短期的经济考量走向长远的可持续发展视野.

回顾历史, 从“八大公害事件”的惨痛教训到《寂静的春天》的思想启蒙, 从《斯德哥尔摩宣言》到《巴黎协定》, 环境地球科学的研究成果始终贯穿于人类应对环境挑战的历程之中. 这些里程碑事件不仅见证了环境地球科学的发展, 更见证了人类环境意识的觉醒与环境治理能力的提升. 每一次环境危机的爆发, 都推动着环境地球科学的进步; 而环境

地球科学的每一次突破, 都为人类应对环境挑战提供了更坚实的支撑. 在我国, 从都江堰的千年智慧到青藏铁路的世界奇迹, 从“绿水青山就是金山银山”理念的提出到碳达峰碳中和目标的庄严承诺, 环境地球科学始终与国家发展同频共振, 为中华民族的永续发展贡献着科学力量.

展望未来, 面对全球气候变化的加剧与环境问题的日益复杂, 环境地球科学将继续以科学的力量, 引领人类走向更加绿色、健康、繁荣、可持续的文明新阶段. 正如联合国所呼吁的, 我们需要“与自然和平相处”, 而环境地球科学正是实现这一目标的科学基石. 在生态文明建设的时代背景下, 环境地球科学需要继续发挥其跨学科的优势, 加强国际合作, 深化理论研究, 创新技术方法, 拓展应用领域, 更好地为人类文明的持续发展贡献智慧和力量. 从土壤到水体, 从地质到大气, 从局部到全球, 从当下到未来, 环境地球科学将继续守护这颗蓝色星球, 为人类文明的长远发展提供坚实的科学支撑.

致谢 感谢国家自然科学基金战略研究类专项(42342065)资助. 衷心感谢环境地球科学学科体系梳理战略研究组及对本次学科体系梳理工作提出建设性意见的专家学者(按姓氏拼音排序): 总体专家组专家: 安太成、崔鹏、李芳柏、骆永明、施斌、唐辉明、王自发、徐建明、岳天祥、郑春苗等; 分支领域研究组专家: 陈利顶、范宣梅、冯新斌、郭华明、何艳、侯德义、黄雨、李长冬、廖晓勇、刘学军、刘永、祁生文、仇荣亮、沈仁芳、史建波、孙建强、汤秋鸿、唐朝生、王玉军、王震宇、韦革宏、韦中、吴志军、许晨曦、颜晓元、张甘霖、张颖、赵晓丽、郑一、朱东强. 鉴于篇幅, 未能悉数列举所有参与本工作的专家姓名, 在此一并致谢. 同时, 感谢广大科技工作者通过各类学术平台为环境地球科学学科建设积极建言献策, 为学科的蓬勃发展作出重要贡献.

推荐阅读文献

1 Liu Y, Wang J, Li H, et al. Development and prospects of environmental geoscience (in Chinese). Chin Sci Bull, 2021, 66: 201–209 [刘羽, 王军, 李慧, 等. 环境地球科学学科发展与展望. 科学通报, 2021, 66: 201–209]
2 Wu F C, Liu Y, Zhao X L, et al. Strategic Research Report on the Development of Environmental Geoscience Discipline (in Chinese). Beijing: Science Press, 2022 [吴丰昌, 刘羽, 赵晓丽, 等. 环境地球科学学科发展战略研究报告. 北京: 科学出版社, 2022]
3 Zhao X, Wu F, Peng J, et al. Research on the funding system of Environmental Geoscience discipline (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, doi: 10.1360/CSB-2025-5840 [赵晓丽, 吴丰昌, 彭建兵, 等. 环境地球科学学科资助体系研究. 科学通报, 2026, doi: 10.1360/CSB-2025-5840]
4 Meadows D H, Meadows D L, Randers J, et al. The Limits to Growth. New York: Universe Books, 1972
5 Higgs K. A brief history of the limits to growth debate. In: Williams S J, Taylor R, eds. Sustainability and the New Economics: Synthesising Ecological Economics and Modern Monetary Theory. Cham: Springer International Publishing, 2022
6 Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. The Development Course and Achievements of Environmental Protection in China (in Chinese), 2013. https://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201310/t20131009_261311.htm [生态环境部. 我国环境保护的发展历程与成效, 2013. https://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201310/t20131009_261311.htm]
7 Dobrovol'skii G V. Ecological functions of soils in the biosphere and in human life. Her Russ Acad Sci, 2013, 83: 472–475
8 Mattson S, Pugh A J. The laws of soil colloidal behavior, XIV. The electrokinetics of hydrous oxides and their ionic exchange. Soil Sci, 1934, 38: 299–314
9 McDonnell J J, Beven K, Morgenstern U, et al. The first catchment water balance: new insights into Pierre Perrault, his perceptual model and his peculiar catchment. Hydrological Sci J, 2025, 70: 27–36
10 Lin M. Unstable Darcy seepage experiment–A new teaching experiment (in Chinese). Hydrogeol Eng Geol, 1988, (1): 47–48 [林敏. 不稳定达西渗流实验——一个新的教学实验. 水文地质工程地质, 1988, (1): 47–48]
11 Horton R E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans Am Geophys Union, 1933, 14: 446–460
12 Mackenzie F T, Garrels R M. Chemical mass balance between rivers and oceans. Am J Sci, 1966, 264: 507–525
13 Stumm W. Aquatic surface chemistry. Chemical processes at the particle-water interface. Anal Chim Acta, 1989, 218: 357–358
14 Arrhenius S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. Philos Mag J Sci, 1896, 41: 237–276
15 Erisman J W, Sutton M A, Galloway J, et al. How a century of ammonia synthesis changed the world. Nat Geosci, 2008, 1: 636–639
16 Rockström J, Gupta J, Qin D, et al. Safe and just Earth system boundaries. Nature, 2023, 619: 102–111
17 Wang Y X. Innovative development of medical geology from the perspective of “One Health” (in Chinese). Earth Sci, 2020, 45: 1093–1102 [王焰新. “同一健康”视角下医学地质学的创新发展. 地球科学, 2020, 45: 1093–1102]
18 Zhu Y G. Planetary Health (in Chinese). Beijing: Science Press, 2025 [朱永官. 星球健康. 北京: 科学出版社, 2025]
19 Terzaghi K. Stress distribution in dry and in saturated sand above a yielding trap-door. In: Proceedings of the International Conference on Soil

Mechanics and Foundation Engineering, 1936. Harvard: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1936. 307–311
20 Savarenski F P. Engineering Geology. Moscow, 1937
21 Gu D Z. Fundamentals of Rock Mass Engineering Geomechanics (in Chinese). Beijing: Science Press, 1979 [谷德振. 岩体工程地质力学基础. 北京: 科学出版社, 1979]
22 Wang S J. Geological nature of rock and its deduction for rock mechanics (in Chinese). Chin J Rock Mech Eng, 2009, 28: 433–450 [王思敬. 论岩石的地质本质性及其岩石力学演绎. 岩石力学与工程学报, 2009, 28: 433–450]
23 Zhang Z Y. The present status, technical advance and development trends of landslide remedial measures (in Chinese). J Geol Hazar Environ Preserv, 2000, 11: 89–97 [张倬元. 滑坡防治工程的现状与发展展望. 地质灾害与环境保护, 2000, 11: 89–97]
24 Peng J B, Lan H X. A brief discussion on ecogeology and the ecogeological environment system (in Chinese). J Earth Sci Environ, 2022, 44: 877–893 [彭建兵, 兰恒星. 略论生态地质学与生态地质环境系统. 地球科学与环境学报, 2022, 44: 877–893]
25 China Meteorological Administration. National Assessment Report on High-Quality Development of Meteorology in 2023 (in Chinese). Beijing: China Meteorological Administration, 2024 [中国气象局. 2023年全国气象高质量发展评估报告. 北京: 中国气象局, 2024]
26 Schwarzenbach R P, Gschwend P M, Imboden D M. Environmental Organic Chemistry. New York: Wiley, 1993
27 Mackay D. Multimedia Environmental Models: The Fugacity Approach. Boca Raton: CRC Press, 1979
28 Fu J, Mai B, Sheng G, et al. Persistent organic pollutants in environment of the Pearl River Delta, China: an overview. Chemosphere, 2003, 52: 1411–1422
29 Elton C. The ecology of animals. Quart Rev Biol, 1960, 45: 512
30 Truhaut R. Ecotoxicology: objectives, principles and perspectives. Ecotoxicol Environ Saf, 1977, 1: 151–173
31 Paustenbach D J. Human and Ecological Risk Assessment: Theory and Practice. New York: Wiley, 2002
32 Allsup M. 3M, DuPont Face California City's Water Contamination Claims. Environ Energy Rep, 2022, (2): 1–2
33 Rudzanová B, Thon V, Vespalcová H, et al. Altered transcriptome response in PBMCs of Czech adults linked to multiple PFAS exposure: B cell development as a target of PFAS immunotoxicity. Environ Sci Technol, 2024, 58: 90–98
34 Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Environment Programme, World Health Organization, and World Organization for Animal Health. One Health Joint Plan of Action (2022–2026): Working together for the Health of Humans, Animals, Plants and the Environment. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022
35 Bjerknes V. Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. Meteorol Z, 1904, 21: 1–7
36 Hunter J. The measurement of surface form. Philos Trans R Soc, 1937, 236: 367–387
37 Sato T. The Earth Simulator: a supercomputer for global environmental simulation. J Earth Simulator, 2004, 1: 3–12
38 Gore A. The digital Earth. Aust Surveyor, 1998, 43: 89–91
39 Zhang S Q, Lin L, Liu C L, et al. A historical review of numerical simulation of the Earth system and future opportunities and challenges (in Chinese). Period Ocean Univ China (Natl Sci), 2022, 52: 1–12 [张绍晴, 林璘, 刘才力, 等. 地球系统数值模拟历史回顾及未来发展之机遇与挑战. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52: 1–12]
40 Intergovernmental Panel on Climate Change. Report of the First Session of the WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: World Meteorological Organization, 1988
41 Molina M J, Rowland F S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. Nature, 1974, 249: 810–812
42 Carson R. Silent Spring. Boston: Houghton Mifflin, 1962
43 World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987

Summary for “环境地球科学对人类文明的贡献”

The contribution of environmental geoscience to human civilization

Fengchang Wu[1*], Yongguan Zhu[2*], Jianbing Peng[3*], Baojing Gu[4], Xiao Pu[5] & Yu Liu[5]

[1] *State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Control, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China*
[2] *Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China*
[3] *College of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710064, China*
[4] *State Key Laboratory of Soil Pollution Control and Safety, College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*
[5] *Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China*
* Corresponding authors, E-mail: wufengchang@vip.skleg.cn; ygzhu@rcees.ac.cn; dicexy_1@chd.edu.cn

Environmental geoscience has played a pivotal role in the long-term development of human civilization, profoundly shaping human well-being and planetary health. From the perspective of the interplay between environmental geoscience and human civilization, this study reviews key milestone events to reveal how environmental issues have deeply influenced human societies, and elucidates the indispensable role of environmental geoscience in guiding civilizational transformation. Environmental geoscience is an interdisciplinary field that investigates the interactions between human activities and the surface earth systems, aiming to understand and sustain a habitable planet. It integrates knowledge across the atmosphere, hydrosphere, lithosphere, biosphere, pedosphere in the context of Anthropocene, and provides scientific foundations for environmental protection, resource management, and human well-being maintenance. The core mission of environmental geoscience lies in exploring and building a “Habitable Earth” to meet humanity's basic needs for clean air, safe water sources, healthy soil and a stable geological environment. Environmental geoscience originates from the study of how to handle the relationship between humans and nature, and is a core basic discipline for ecological civilization construction and sustainable development.

This study identifies four major contributions of environmental geoscience to human civilization, highlighting its indispensable role within the complex social–ecological system. First, environmental geoscience establishes the theoretical foundation for agricultural civilization and ecosystem health by elucidating fundamental processes such as soil formation, nutrient cycling, water dynamics, and climate–biosphere interactions. These insights not only sustain food production systems but also enhance resilience against environmental stressors, thereby greatly broadening the cognitive boundaries of human knowledge and enabling more sustainable land-use practices. Second, it advances engineering geological technologies, offering critical scientific support for infrastructure development, natural hazard mitigation, and urban planning. By integrating geological assessment with technological innovation, environmental geoscience ensures the stability of foundations, reduces risks from earthquakes, landslides, and subsidence, and safeguards human settlements. This contribution is particularly vital in the context of rapid urbanization and large-scale engineering projects.

Third, environmental geoscience promotes overall well-being through the adoption of the “One Health” concept, which recognizes the intrinsic interconnections among human health, ecological integrity, and environmental quality. By addressing environmental pollution, biogeochemical contamination, and emerging health risks, it provides a holistic framework to evaluate and manage the impacts of human activities under the integrated “human–biota–environment” system, thereby supporting public health and ecological sustainability simultaneously. Fourth, it expands global governance and international cooperation by bridging natural and social sciences. Environmental geoscience informs evidence-based policymaking on climate change, resource management, and environmental protection, facilitating transboundary collaboration and contributing to global sustainability agendas. Its interdisciplinary nature strengthens the scientific basis for international agreements and coordinated actions.

Looking ahead, environmental geoscience must continue to undertake critical missions in addressing unprecedented global challenges, including climate change, biodiversity loss, emerging contaminants, and resource scarcity. These challenges demand more robust theoretical frameworks, advanced monitoring technologies, and innovative solutions. Strengthening interdisciplinary research and fostering closer international collaboration will be essential for tackling complex social–ecological issues. By aligning scientific advancements with national strategies and global priorities, environmental geoscience can play a pivotal role in building a sustainable future. Ultimately, through integrating knowledge across disciplines and promoting inclusive global dialogue, it will further enhance human well-being and long-term societal sustainability. In conclusion, this study offers a comprehensive perspective on the contributions of environmental geoscience to human civilization, highlighting its enduring significance back to the history and far into the future. Through the synergies of scientists, policy-makers and the general public, humans can coexist peacefully with nature, and together create a more sustainable future.

environmental geoscience, human civilization, ecological civilization, habitable Earth, sustainable development

doi: 10.1360/CSB-2026-0475