

引用格式:刘宝珺,杨仁超,魏久传,等. 地球历史新阶段:人类世[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(1):1-9.  
LIU Baojun, YANG Renchao, WEI Jiuchuan, et al. A new phase of earth history: Anthropocene[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2018, 37(1): 1-9.

# 地球历史新阶段——人类世

刘宝珺,杨仁超,魏久传,王兆鹏,韩作振

(山东科技大学 地球科学与工程学院,山东 青岛 266590)

**摘要:**在大约45亿年漫长的地球历史演化中,地球经历了25个伟大的里程碑式事件,这些事件成为塑造地球的重要转折点。在地质学和地史学发展历程中,针对地质现象及生物进化产生了许多假说和观点,极大地促进了地球科学的发展,丰富了人类对自然规律的认识。站在当代地球科学家的高度,需要具备辩证唯物主义地球历史观,用辩证唯物主义自然科学观来认识人类探索自然的曲折历程。人类活动已成为影响地球系统的重要营力,它迅速改变地球面貌,由此造成的环境问题严重困扰人类生存与可持续发展。尽管围绕“人类世”这一术语仍有争议,但不可否认的是,地球历史已经迎来了新阶段,可持续发展、科学发展以及“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念的提出顺应历史发展潮流。面对地球历史新阶段,需要当代地球科学人高屋建瓴,引导世界人民形成“可持续发展”、“科学发展”与“人与自然的和谐发展”等人类共识。

**关键词:**地球历史;辩证唯物主义;人类世;和谐发展;绿色发展

中图分类号:P534

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2018)01-0001-09

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.01.001

## A New Phase of Earth History: Anthropocene

LIU Baojun, YANG Renchao, WEI Jiuchuan, WANG Zhaopeng, HAN Zuozhen

(College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** The earth has experienced 25 great milestones which serve as important turning points in the shaping of the earth in its 4.5 billion years of evolution. During the development process of geology and historical geology, many hypothesis and viewpoints were put forward on geological phenomena and biological evolution, which have promoted the development of earth science and enriched human's understandings of nature. As contemporary earth scientists, we need to have a dialectical materialist view of the earth's history, perceiving human's exploration of the nature with a dialectical materialist view of natural science. As an important force affecting the earth system, human activities are rapidly changing the earth's appearance, creating serious environmental problems that affect the survival of human beings and the sustainable development of the earth. Although there are still controversies on the term of "anthropocene", it is undisputable that the earth has ushered in a new phase. Sustainable development, scientific development, and the development concepts of "innovation, harmony, green, opening and sharing" are put forward to adapt to the trend of historical development. In the new phase of earth history, it is the duty of contemporary earth scientists to make "sustainable development", "scientific development" and "harmonious development between man and nature" a consensus of mankind by taking a strategically advantageous position.

**Key words:** earth history; dialectical materialism; anthropocene; harmonious development; green development

收稿日期:2017-03-26

基金项目:国家自然科学基金项目(41372135,41672120);山东省重大科技创新工程项目(2017CXGC1608);山东科技大学科研团队计划(2015TDJH101)

作者简介:刘宝珺(1931—),男,天津人,教授,中国科学院院士,主要从事沉积动力学、岩相古地理等方面的研究。

地球和宇宙起源、生命起源与演化等问题,是人类探索自然、认识自然的重大基础科学问题,不仅涉及地质学、生命科学、天文学、数学、物理学、化学等多个学科领域,而且已上升为哲学问题。科学、哲学发展至今,地质学家应该具备什么样的地球历史观,成为引导人类形成正确认识自然、崇尚科学、探索自然奥妙、形成正确世界观的根本问题。如何正确客观看待地球科学发展过程中的观点争论,辩证唯物主义或许可为我们提供一种基本思路。

## 1 地球早期历史与生命演化

地球是目前人类唯一的家园,是人类赖以生存与发展的基地,也是人类探索宇宙的大本营。根据现代星云假说,大约在 45 亿年前,从太阳星云中开始分化出原始地球。地球是一个由不同相态的多种物质组成的、具有多个同心圈层结构的椭球型天体。根据地球组成和物理性质的不同,其内部圈层分为地壳、地幔和地核,其外部圈层分为相互交叉的大气圈、水圈和生物圈。

地球的演化大致可以分为三大阶段:第一阶段为冥古宙,时限距今约 45~38 亿年,未发现地质记录;第二阶段为太古宙和元古宙,时限距今约 38~5.4 亿年,地球上开始出现岩石记录及最低等的原始生命;第三阶段为显生宙,时限由 5.4 亿年至今,生物逐渐演化,出现大量高等生物。

在漫长的地球历史演化长河中,生命演化经历了从低等向高等、由海洋向陆地扩展的不同阶段;地球环境经历了从无氧到有氧的改变;大陆板块经历了形成、分裂、漂移、汇聚到拼合等多个轮回。地球发展演化历史中,产生了很多的变化与事件,其中一些重大事件成为地球历史上伟大的里程碑和转折点。地球与生命演化过程中,公认的里程碑(Milestone)式事件共有 25 个(图 1, M1~M25)。

目前发现的最古老的化石是距今约 35 亿年的单细胞微生物化石。但关于地球生命何时开始、如何开始,在地球科学界仍然是未解之谜。生命的发端可能更早,通过对加拿大拉布拉多北部距今 39.5 亿年沉积岩中的碳质物和碳酸盐的碳同位素组成分析发现,可能早在 39.5 亿年前地球上就已存在有机生命了<sup>[1]</sup>。最早的光合作用出现在约 34 亿年前,微生物利用阳光的能量把简单的分子合成糖类物质,为其他生命的生存和演化提供了营养,同时改变了地球原始大气的组成。早期地球历史中,原始大气组分中几乎没有氧气。

约 24 亿年前,诸如蓝绿细菌等微生物大量繁盛,利用光合作用将二氧化碳和水合成糖类,同时释放出氧气,形成富含氧气的大气。地球演化历史早期的微生物光合作用,不仅改变了早期地球大气的原始组成,而且为早期生命演化提供了必要的氧气和有机质营养。这种光合作用同时对早期碳循环产生显著影响,地球上广泛分布的元古界叠层石灰岩,即是早期碳酸盐岩沉淀和碳循环的产物。但另一方面,氧气含量的升高以及温室气体二氧化碳和甲烷的大量消耗,可能影响地球表层的温度,使之成为一个冰雪广布的“雪球地球”。大约距今 8.5 亿年至 6.35 亿年,地球形成了第二次大的冰期。这次大冰期结束后,地球迎来了复杂生物的“爆发式”增长,新物种大量出现。

距今约 6.35 亿年至 5.41 亿年(埃迪卡拉纪),地球上出现了最早的复杂生物——埃迪卡拉动物群。真核细胞以及细胞分裂化石的发现,揭示了早期生命演化的奥秘<sup>[2]</sup>。几乎每一类现代动物都在寒武纪生命大爆发时期的几千万年间出现。张兴亮等<sup>[3]</sup>(2014)认为寒武纪前二个阶,动物门类的数量快速增长,新门类不断出现;尤其是在第二阶,门类数量呈跳跃式增长,新出现 14 个动物门。实际上寒武纪生命“大爆发”可能主要是因为很多动物都有了坚硬的外壳而更易于生存。在此后的奥陶纪早期(距今 4.89 亿年),每一类动物都有了快速的发展。

古生代之后,地球上的生物经历了几次大的繁盛期和大灭绝,不同的物种在不同地史阶段出现更替,并最终造就了现在地球生物的多样性。

## 2 地质历史的划分——地质年代表

2 个多世纪以来,地质学家和古生物学家通过对全球地层的综合研究,对比地层中的古生物化石、古生物的演化序列、地层的时空分布、大地构造与沉积环境演化,逐渐认识到地球和生物的演化具有阶段性。地质学家和古生物学家们依据地球和生物演化的阶段性,结合放射性同位素测年数据,系统地划分了地球和生

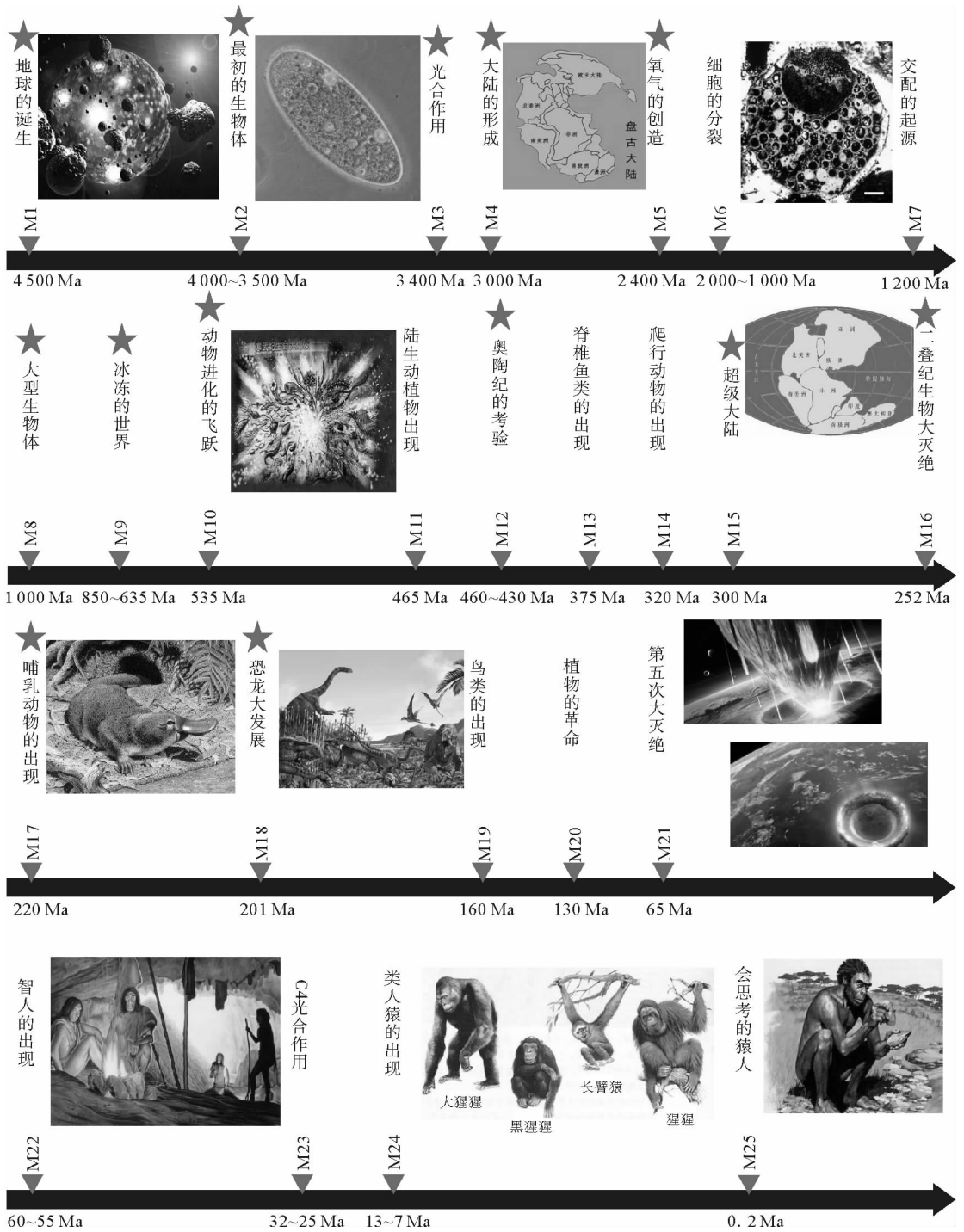


图 1 地球与生命演化历史的 25 个里程碑式事件

Fig. 1 25 milestone events in the history of the earth and life evolution

物演化历史,编制了一个可以在全球范围内作为普遍参照对比的年代表,即地质年代表<sup>[4]</sup>。地质年代表是全世界地质学研究的关键基础,使得全球地质科学研究有了一个可供参照对比的通用标准,地质年代表的出现极大地推动了地质学的发展。

地层学中的术语“全球标准层型剖面 and 点位”(Global Stratotype Section and Point, GSSP),又称“金钉子”,是划分并定义全球年代地层中基本单位“阶”底界的国际标准<sup>[5]</sup>。1997 年确认的位于浙江省常山县黄

泥塘的达瑞威尔阶“金钉子”,是我国第一个“金钉子”,在其后的14年里又接连确立了9个“金钉子”,使得我国成为世界拥有“金钉子”数量最多的国家,至今仍未被他国所超越。

目前国际通用的地质年代表是由国际地质科学联合会(International Union of Geological Science, IUGS)2000年公布的国际地层表<sup>[6]</sup>,随着地质科学与分析测试技术的提高,地质科学研究不断走向深入,地质年代表也在不断更新、补充和完善<sup>[4]</sup>,国际地质年代表也在不断更新(详见<http://www.stratigraphy.org>),这种发展是辩证唯物主义科学观的具体体现。

### 3 地质学研究中的观点碰撞

#### 3.1 突变论和渐变论

作为自然科学的一个主要门类,地质学学说经历了无数的争论与修正<sup>[7-10]</sup>。以法国学者居维叶为代表的突变论学者,通过对古生物化石的研究发现,有很多不同于现代生物的物种早已灭绝,在他看来这些生物是被某种强烈的突发性事件灭绝的,如地层不整合面等地质运动证据都是一个地质事件造成的<sup>[11]</sup>。突变论曾经一度被人们神秘化和极端化,但不能否认其对于人类探索地球历史奥秘具有重要意义<sup>[7,12]</sup>。

19世纪30年代,以英国学者莱伊尔(Lyell)<sup>[13]</sup>为代表的渐变论学者认为,许多变化可以由一系列微小而突然的变动构成。在其著名的《地质学原理(Principles of Geology)》中提到,地史中发生的地质作用在能量分级上和现代地质作用没有什么不同。莱伊尔主张的渐变论强调了漫长地质时间的意义,这种漫长的时间足以使任何微小的渐变产生惊人效果,而不需要借助于灾变。渐变论在历史上曾起过进步作用,但也不是完全正确的<sup>[14-15]</sup>。

以唯物主义辩证法的自然科学观来看,渐变论与突变论均有其可取之处,二者可以同时存在、同时起作用,而不是非此即彼的排他关系。正如量变的积累与质变一样,渐变与突变在地质历史和生命演化过程中交相呼应,造就了地球的复杂性和生物的多样性。

#### 3.2 大地构造中的垂直运动和水平运动

地壳的垂直运动和水平运动是大地构造学长期争论的问题之一<sup>[16-19]</sup>。由于人类对于地质构造现象的认识不断深入,大地构造学中垂直运动学说和水平运动学说不断兴衰和更替。“主火论”曾经成为主流观点,人们普遍认为地壳运动主要由岩浆活动引起<sup>[20]</sup>,对于岩浆自下而上的侵入和喷发现象的认识使地壳的垂直运动说盛极一时。后来,随着阿尔卑斯构造研究的展开,巨大逆冲断层被发现,水平运动说逐渐取代了垂直运动说。20世纪初期,魏格纳的大陆漂移说认为南美洲、北美洲、欧洲、非洲和澳洲曾经是连在一起的,后来的分开以及大西洋的形成是由于地壳的巨大水平移动所致,这一学说把水平运动说推到顶峰。从20世纪30年代开始,以欧美特别是前苏联学者为主,开展了沉积建造的研究,使得地槽和地台学说得到进一步发展,强调了垂直运动的重要性,于是又使垂直运动说达到极点。直至大陆漂移学说、海底扩张学说以及板块构造学说等构造活动论诞生,成为近代最盛行的全球构造理论。但板块运动的驱动力问题、板块的水平运动与地球深部的垂直运动之间的关系等重大科学问题亟待深入研究与探索。

从现今的认知来看,无论是岩石的“水成论”与“火成论”之争,还是地壳垂直运动与水平运动之争,都未能全面认识地球科学问题。当代地质科学工作者需要全面正确地看待这些争论。地球上的岩石既有“水成”的(沉积岩),也有“火成”的(岩浆岩);地壳的运动既有垂直升降运动,也有水平运动,这种运动表现了地球内动力在地壳、岩石圈浅层的作用。

以唯物主义辩证法的科学哲学观来审视该问题,会发现人类认识自然的过程必然会出现一些曲折,但科学和认识总是在不断前进和发展的,也体现了“对立统一”的辩证唯物主义哲学在地质科学理论发展中的广泛应用<sup>[21]</sup>。

#### 3.3 生物大爆发与灭绝

地史上任何时期都会有一些生物灭绝,使得总平均灭绝率大体维持在一个低水平上(通常每百万年0.1~1个种,依门类而不同),这叫背景灭绝(Background Extinction)。与之相对应,在一些地质时期,许多门类生物近乎于同时灭绝,使得生物界灭绝率忽然升高,这叫集群灭绝或大规模灭绝(Mass Extinction)。地

史上最典型的集群灭绝共有 5 次:奥陶纪—志留纪之交<sup>[22-24]</sup>、晚泥盆世弗拉斯期—法门期之交<sup>[25-27]</sup>、二叠纪—三叠纪之交<sup>[28-30]</sup>、三叠纪—侏罗纪之交<sup>[31-33]</sup>以及白垩纪—古近纪之交<sup>[34-35]</sup>,其中最重大的灭绝事件发生在二叠纪—三叠纪之交,其次是白垩纪—古近纪之交。

导致生物大规模灭绝的事件,主要包括地球成因事件和地外成因事件两大类。前者包括火山爆发、地磁场倒转、大规模海退、板块运动、温度变化、盐度变化和缺氧事件等;后者如小行星撞击、超新星爆发和太阳耀斑等。但是,突变是生物灭绝的外部因素,外部因素起主导作用的时间是局限的,生物大规模灭绝的内在因素或许更重要。

大灭绝后的生态系统和生物群,通过生物自组织作用和对新环境的不断适应,逐渐恢复到正常的发展水平过程,称为生物复苏。经历大灭绝事件后,多数生物灭绝、消失,正常的生态系遭受破坏,只有少数对灭绝期的环境具有特殊适应能力的种群能够在灭绝后残存下来,并在所空出的生态系中占据优势。但空出的生态领域也有利于一些进步类型的新生、分异和快速发展,从而迅速取代残存的古老类型,形成新的生态平衡,并开始新的繁荣阶段。

因此,在生物的演化、爆发与灭绝等方面,既体现了内因与外因的共同作用,也体现了灾变与渐变的有机统一,这便是辩证唯物主义的地球历史观的具体体现。

## 4 地球发展新阶段——人类世

### 4.1 人类世概念的提出与内涵

“人类世”(Anthropocene)最早由保罗·克鲁岑和尤金·施特默<sup>[36]</sup>于 2000 年提出,用于代表自人类工业革命以来的地质时代。在总结了人类影响下的地球地质、环境、气候和大气等现状后,认为全新世已经结束,当今的地球已进入一个新的地质时代——人类世<sup>[36]</sup>。随后,又有多篇文章对这一概念加以推广<sup>[37-39]</sup>。2008 年,21 位伦敦地质学会地层委员会的成员联名发表论文,将“人类世”这一概念正式引入地球科学领域<sup>[40]</sup>。其实,早在 20 世纪后半叶,人类开始注意到人为作用对地球和环境的破坏,人类活动对岩石圈、水圈、大气圈与生物圈的交互作用受到广泛关注,相关领域的研讨日益升温<sup>[41]</sup>。Steffen 等<sup>[42]</sup>认为“当前人类改变地球的幅度、广度和速度在人类历史,甚至地球历史上都是史无前例的,当前的地球系统正处在一个无可比拟的状态下”,因而对人类世的成立进行大力推广,一些地质学家已经把“人类世”作为一个地质时代<sup>[43-46]</sup>。

随着“人类世”术语的推广,有学者提出“人类世地质学”的概念<sup>[47]</sup>。地球化学、地球物理学、地质地貌学、自然地理学、大气科学、水文学、土壤学、生物学等自然科学是人类世地质学的基础<sup>[48-49]</sup>;而人文地理学、城市学、经济学、人类学、考古学、历史学等人文科学渗透到人类世地质的研究之中<sup>[48-49]</sup>;此外,环境学、规划学、系统学等交叉性学科同样融入到人类世地质学的研究中<sup>[47,50]</sup>。

但陈之荣(2006)等<sup>[51]</sup>认为,“人类世”作为一个地质时代的提出完全基于自工业革命以来人类活动对地球资源、环境所产生的巨大改变,与生物事件和生物地层无关,因而与地质时代的经典划分标准不符。从地球演化史来看,不同级别的地质时代都有与其相对应的不同级别的生物事件,包括灭绝事件、短暂的间隔和生物辐射(或爆发)<sup>[51]</sup>。但进入全新世以来,虽然人类活动导致了大量物种的灭绝,但并未出现新的生物种群,即还没有发生生物辐射(爆发)现象,认为建立一个新的地质时代的条件还不充分<sup>[51]</sup>。

尽管围绕“人类世”这一新名词还会有持续的学术争论,但相关的内容引起了越来越多地质学工作者的关注。“人类世”代表了地球历史和人类历史上一个新的发展阶段:人类力量与自然界力量相互作用、其中一种力量的命运影响另外一种力量命运的阶段。而从地球发展历史来看,地球的确进入了一个全新的阶段——人类世。因此,人类世应当这样表述:人类活动作为主要的外部地质营力对地表形态、地球环境和地球生态系统产生重大影响,使地球系统演化改变原有速率,地球系统演化进入自然与人类共同影响地球未来的地质历史新阶段。

### 4.2 人类世下限问题的讨论

Crutzen 和 Stoermer 提议将 18 世纪下半叶作为全新世和人类世的界线,指出根据冰芯记录,自 18 世纪

下半叶,亦即西方国家开始工业革命,大气中温室气体浓度激增,人类对地球产生了清晰、全球性的影响<sup>[36]</sup>。人类活动——特别是工业革命以来的人类经济活动,对气候和环境造成了全球尺度的影响,这些影响涉及沉积、大气、生物、海洋、冰冻圈等多个圈层,在地层中留下了可见、可测的标志,能够为人类世(统)下限(底界)的确立提供地层学上的证据<sup>[40-41]</sup>。今天的地球不再纯粹受自然因素控制,人类文明的影响成为不可忽略的重要因素<sup>[52]</sup>。

西方国家科学家重视工业革命的影响,主张将“人类世”的下界定于近代,以将工业革命的开端(18世纪下半叶)作为全新世与人类世的界线,因为根据冰芯记录,自那时起大气中多种温室气体浓度激增,人类活动对地球产生了清晰可辨的、全球性的影响<sup>[40,42]</sup>。Steffen甚至将人类世分为3个期:工业化时期(1800—1945年)、大加速时期(1945—2015年)和地球系统主导时期(2015年—)<sup>[42]</sup>。与19世纪相比,因燃烧化石燃料造成的大气中CO<sub>2</sub>含量增加,在湖泊沉积物中留下明显的地层标志,可以作为人类世的金钉子;克鲁岑<sup>[36]</sup>甚至把人类世的下限更加精确地限定在1784年,即瓦特发明蒸气机开始。

人类世的提出者建议把欧洲工业革命的开始作为人类世的下限,但其他学者也有不同的意见:其一,有学者建议把下限前推到数千年前,认为在前工业时代,人类的农业活动所造成的大气改变就已经很可观了<sup>[53]</sup>。其二,有学者建议人类世下限等同于全新世下限,即用“人类世”这个名称来代替“全新世”<sup>[41,48]</sup>。将工业革命的开始作为人类世的下限时,忽视了世界其他地区的情况,比如亚洲、非洲、拉美地区等受工业革命的影响并不显著<sup>[48]</sup>。

我国学者刘东生认为应当定为原全新世下限<sup>[48]</sup>,认为人类作为地质营力对地球产生全面影响不仅仅是近200多年的事,而是从全新世开始就已发生,建议直接用人类世取代全新世,即人类世的下限应等同于全新世的下限。而孙建中教授<sup>[50]</sup>则认为可用“人类世”替换之前的“第四纪”,第四纪是人类的时代,是人类生存和发展的主要时期,因此第四纪是人类的时代,废除“第四纪”一词而以“人类世”代之较妥。

### 4.3 人类世地质营力与主要标志

提出人类世及人类世地质学概念的最主要依据就是把人类活动当作一种地质营力,并且运用这种观点解释近300年来以及今后相当长一段时期的地质过程及地球演变<sup>[47]</sup>。人类活动属于外力地质作用的范畴,随着科技的发展,人类活动愈加广泛和深入地影响地球系统,因此可以把其作为一种独立的地质营力来考虑<sup>[37,48,51]</sup>。

提出“人类世”这一新的地质时代,是为了提醒人们重视这样一个事实:人类活动正在成为影响和改变地球面貌和环境的重要力量<sup>[47]</sup>。人类作为一种地质营力,自工业革命以来的作用日益加强,人类营力对地球所造成的影响已经超过了自然界的地质营力;即使人类附加给地球的不良影响得到修复,这种人类影响的地质作用也要延续到上万年以后才能消失,人与自然才能够取得更完美的和谐<sup>[54]</sup>。这个时期从农业活动出现开始,特别是工业革命以后,人类活动成为重要的影响地球系统的力量。

人类活动对自然界的地球形态、地表系统、地球演化的影响也日趋显著。人类活动营力最明显的例子是“新城市运动”,它带来了许多地质响应:地表径流阻断、大气污染、水体污染,与人类活动有关的地质灾害频发,地表环境变得脆弱<sup>[47]</sup>。核武器、化石燃料、新材料、地层改变、肥料、全球变暖和生物灭绝等成为“人类世”开始的七大主要标志<sup>[55]</sup>。

尽管围绕人类世及其地质营力的辩论仍在进行,但是“人类世”代表了人力和自然力相互交织的地球历史崭新阶段,人类的命运与地球历史息息相关。从地质学的角度来讲,这是地质历史上的一个重要时期。

## 5 结语

地球已经存在了45亿年,地球历史上25个伟大的里程碑是塑造地球的转折点。关于地球和生物演化的过程有众多的假说,都促进了人类对地球的进一步认识。不同学术观点基于各自的依据,针对自然现象提出了自己的见解,部分观点由于受自身观察视角和主观理解的制约,或许有失偏颇,但针对这些学术观点,站在当今的地球科学高度,需要辩证统一、全面认识,用辩证唯物主义地球科学看待地学领域的学术假说和争议。

“人类世”表示人与自然的相互作用加剧,人类成为一种重要的地质营力。当前,人类活动成为重要的改变地球地质系统的力量,它迅速改变地球面貌,使环境问题成为突出问题。可持续发展、科学发展、绿色发展等先进理念的提出,解决了人与自然的矛盾统一关系,具有里程碑意义。在地球历史的新阶段,要求人类社会提倡人与自然的和谐、人与人的和谐、人与社会的和谐。只要人类能够正确认识、全力解决发展与环境之间的问题,实现人类社会的可持续发展,人与自然的和谐是完全可以实现的。当今的中国,生态文明建设被提升至国家发展战略,“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念的提出顺应历史发展的潮流,不仅对我国的社会、经济发展和环境保护提出了更高的要求,而且为世界文明的发展引领了正确的方向。随着清洁能源的普及、人类环保意识的提高、科技的持续进步和社会文明的不断发展,人类世对地球系统的影响正向积极的方向转变,人类的发展必将迎来光明的未来。

#### 参考文献:

- [1]TASHIRO T,ISHIDA A,HORI M,et al. Early trace of life from 3.95 Ga sedimentary rocks in Labrador,Canada[J]. Nature,2017,549(7673):516-518.
- [2]CHEN L,XIAO S H,PANG K,et al. ,Cell differentiation and germ-soma separation in Ediacaran animal embryo-like fossils [J]. Nature,2014,516(7530):238-41.
- [3]张兴亮,舒德干. 寒武纪大爆发的因果关系[J]. 地球科学,2014,44(6):1155-1170.  
ZHANG Xingliang,SHU Degan. Causes and consequences of the Cambrian explosion[J]. Earth Sciences,2014,44(6):1155-1170.
- [4]汪新文. 地球科学概论[M]. 北京:地质出版社,2013.
- [5]彭善池. 全球标准层型剖面和点位(“金钉子”)和中国的“金钉子”研究[J]. 地学前缘,2014,21(2):8-26.  
PENG Shanchi. Global standard startotype-section and point (GSSP,“Golden Spike”) and the GSSP research in China[J]. Earth Science Frontiers,2014,21(2):8-26.
- [6]杜远生,童金南. 古生物地史学概论[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [7]孙荣圭. 地质科学史纲[M]. 北京:北京大学出版社,1984.
- [8]徐道一,张勤文,杨正宗,等. 论地质灾变的哲学意义[J]. 科学技术哲学研究,1986(3):79-83.  
XU Daoyi,ZHANG Qinwen,YANG Zhengzong,et al. Discussion on the philosophical significance of geological catastrophe [J]. Studies in Philosophy of Science and Technology,1986(3):79-83.
- [9]於崇文. 地球科学中的一些科学思想与哲学观点[J]. 地球科学,1992(增1):9-17.  
YU Chongwen. Some scientific ideas and philosophical viewpoints in earth sciences[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences),1992(S1):9-17.
- [10]余良耘. 地学理论与假说[J]. 自然辩证法研究,2002,18(5):4-7.  
YU Liangyun. Geological theories and hypotheses[J]. Studies in Dialectics of Nature,2002,18(5):4-7.
- [11]CUVIER G. Recherches sur les ossemens fossils. Discours sur les revolutions de la surface du globe[M]. Paris:Deterville. 1834.
- [12]殷鸿福. 关于新灾变论的争论现状[J]. 地质科技情报,1986,5(1):44-49.  
YIN Hongfu. The current situation of the debate on the new disaster[J]. Geological Science and Technology Information, 1986,5(1):44-49.
- [13]LYELL C S,RUDWICK M J S. Principles of geology[M]. New York:Freeman,1975.
- [14]殷鸿福,徐道一,吴瑞荣. 地质演化突变观[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1987.
- [15]吴汝康. 达尔文时代以来生物学界最大的论战:系统渐变论与间断均衡论[J]. 人类学学报,1988(3):270-277.  
WU Rukang. The greatest debate in biology since Darwin's time: System gradient theory and discontinuous equilibrium theory[J]. Acta Anthropologica,1988(3):270-277.
- [16]张文佑. 略谈地壳的垂直运动和水平运动问题[J]. 地质科学,1959,2(6):166-167.  
ZHANG Wenyou. Discussions on vertical and horizontal motion of the earth's crust[J]. Chinese Journal of Geology,1959, 2(6):166-167.
- [17]杨静一. 论大地构造学中的固定论的形成和发展[J]. 自然辩证法通讯,1998,20(6):51-59.  
YANG Jingyi. Formation and development of immobilization in geotectology[J]. Journal of Dialectics of Nature,1998,20

(6):51-59.

- [18]李三忠,张国伟,刘保华,等. 新世纪构造地质学的纵深发展:深海、深部、深空、深时四领域成就及关键技术[J]. 地学前缘, 2010,17(3):27-43.  
LI Sanzhong, ZHANG Guowei, LIU Baohua, et al. The future of structural geology in the new century: Advances in fields of deep sea, deep interior, deep space and deep time and related key techniques[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(3): 27-43.
- [19]浦庆余. 我国大地构造学派的形成和发展初探[C]//中国地质学会地质学史专业委员会. 中国地质学会地质学史专业委员会第23届学术年会论文汇编. 北京:中国地质学会地质学史专业委员会, 2011:7-18.
- [20]张庆麟, 诸大建, 王建斌. “水火之争”与赫顿对地质学的贡献[J]. 自然杂志, 1984(8):62-66.  
ZHANG Qinglin, ZHU Dajian, WANG Jianbin. “Water and fire” and Hutton’s contribution to geology[J]. Chinese Journal of Nature, 1984(8):62-66.
- [21]张文佑. “对立统一”在地质科学理论发展中的体现[J]. 哲学研究, 1982(6):24-26.  
ZHANG Wenyu. The embodiment of “unity of opposites” in the development of geological science theory[J]. Philosophical Researches, 1982(6):24-26.
- [22]BRENCHLEY P J, CARDEN G A, HINTS L, et al. High-resolution stable isotope stratigraphy of Upper Ordovician sequences: Constraints on the timing of bioevents and environmental changes associated with mass extinction and glaciation [J]. Geological Society of American Bulletin, 2003, 115(1):89-104.
- [23]BASSETT D, MACLEOD K G, MILLER J E, et al. Oxygen isotope composition of biogenic phosphate and the temperature of Early Ordovician seawater[J]. Palaios, 2007, 22(1):98-103.
- [24]戎嘉余, 詹仁斌. 华南晚奥陶世腕足动物的大灭绝[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2004:71-96.
- [25]侯鸿飞, 王士涛. 中国泥盆纪古地理[J]. 古生物学报, 1985, 24(2):186-197.  
HOU Hongfei, WANG Shitao. Devonian palaeogeography of China[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1985, 24(2):186-197.
- [26]白顺良. 泥盆纪弗拉阶-法门阶事件的化学-生物地层学研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(增1):363-369.  
BAI Shunliang. Chemo-biostratigraphic study on the Devonian Frasnian, Famennian event[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis, 1998, 34(S1):363-369.
- [27]龚一鸣, 李保华. 晚泥盆世赤潮与生物集群绝灭[J]. 科学通报, 2002, 47(7):554-560.  
GONG Yiming, LI Baohua. Late Devonian and biological cluster extinction[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(7):554-560.
- [28]CAO C Q, LOVE G D, HAYS L E, et al. Biogeochemical evidence for euxinic oceans and ecological disturbance presaging the end-Permian mass extinction event[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2009, 281(3):188-201.
- [29]BOND D P G, WIGNALL P B. Pyrite framboid study of marine Permian-Triassic boundary sections: A complex anoxic event and its relationship to contemporaneous mass extinction[J]. Geological Society of American Bulletin, 2010, 122(7/8):1265-1279.
- [30]BLACKBURN T J, ET-TOUHAMI M. Zircon U-Pb geochronology links the End-Triassic extinction with the central atlantic magmatic province[J]. Science, 2013, 340(6135):941-945.
- [31]谢树成, 殷鸿福, 曹长群, 等. 二叠纪-三叠纪之交地球表层系统的多幕式变化:分子地球生物学记录[J]. 古生物学报, 2009, 48(3):487-496.  
XIE Shucheng, YIN Hongfu, CAO Changqun, et al. Episodic changes of the earth surface system across the Permian-triassic boundary: Molecular geobiological records[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2009, 48(3):487-496.
- [32]程龙. 滇黔地区中晚三叠世之交海生爬行动物演替研究[D]. 武汉:中国地质大学, 2015.
- [33]张筱青, 张国权, 席书娜, 等. 三叠系-侏罗系界线古火灾事件研究:方法、进展及展望[J]. 古生物学报, 2016, 55(3):331-345.  
ZHANG Xiaqing, ZHANG Guoquan, XI Shuna, et al. Wildfire event at the Triassic/Jurassic boundary: Approaches, progress, and perspective[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2016, 55(3):331-345.
- [34]ZINSMEISTER W J. Discovery of fish mortality horizon at the K-T boundary on Seymour Island: Reevaluation of events at the end of the Cretaceous[J]. Journal of Paleontology, 1998, 72(3):556-571.
- [35]ARCHIBALD J D, SAHNI A. Cretaceous extinctions: Multiple causes[J]. Science, 2010, 328(5981):973-973.



- [36] CRUTZEN P J, STOERMER E F. The “Anthropocene”[J]. IGBP News letter, 2000, 41: 17-18.
- [37] CRUTZEN P T. Geology of mankind[J]. Nature, 2002, 415(6867): 23.
- [38] CRUTZEN P J. The “Anthropocene”[C]// Ehlers E & Krafft Teds. Earth System Science in the Anthropocene. Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag, 2006: 13-18.
- [39] CRUTZEN P J, STEFFEN W. How long has we been in the Anthropocene Era?[J]. Climatic Change, 2003, 61(3): 251-257.
- [40] ZALASIEWICZ J, WILLIAMS M, SMITH A, et al. Are we now living in the Athropocene?[J]. GSA Today, 2008, 18(18): 4-8.
- [41] 蒋青, 冷琴, 王力. “人类世”论评—环境领域的“舶来品”, 地球科学的新纪元? [J]. 地层学杂志, 2009, 33(1): 11-17.  
JIANG Qing, LENG Qin, WANG Li. Anthropocene, the newly proposed geological epoch rooted in environmental research [J]. Journal of Stratigraphy, 2009, 33(1): 11-17.
- [42] STEFFEN W, SANDERSON A, TYS O P D, et al. Global change and the Earth system; a planet under pressure[C]// The IGBP Global Change Series. Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag, 2004: 1-336.
- [43] EHLERS E, KRAFFT T. Managing Global Change; Earth System Science in the Anthropocene[M]. Berlin, Heidelberg, New York; Springer-Verlag, 2006: 5-12.
- [44] MACKENZIE F T, LERMAN A. Carbon in the Geobiosphere; Earth’s outer shell[M]. Topics in Geobiology, 2006: 25.
- [45] GORMAN M E. Cognition, environment and the collapse of civilizations[M]// Model-Based Reasoning in Science, Technology, and Medicine. Berlin, Heidelberg; Springer, 2007: 217-227.
- [46] VERBURG P. The need to correct for the suess effect in the application of  $\delta^{13}\text{C}$  in sediment of autotrophic Lake Tanganyika, as a productivity proxy in the Anthropocene[J]. Journal of Paleolimnology, 2007, 37(4): 591-602.
- [47] 赵剑波, 揭毅. 人类世地质学几个基本理论问题[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2008, 42(4): 649-653.  
ZHAO Jianbo, JIE Yi. On several basic theoretical questions of geology of Anthropocene[J]. Journal of Huazhong Normal University (Natural science), 2008, 42(4): 649-653.
- [48] 刘东生. 开展“人类世”环境研究, 做新时代地学的开拓者: 纪念黄汲清先生的地学创新精神[J]. 第四纪研究, 2004, 24(4): 369-378.  
LIU Dongsheng. Demand of Anthropocene study in the new stage of geoscience: In honor of late geologist Huang Jiqing for his innovative spirit[J]. Quaternary Science, 2004, 24(4): 369-378.
- [49] 殷跃平. 全球地质学复兴! 我们正进入“人类纪”: 第32届国际地质大会环境地质述评[J]. 地质通报, 2005, 24(2): 99-103.  
YIN Yueping. Rejuvenation of global geology; We are entering the “mankind period”—Comments on environmental geology presented at the 32<sup>nd</sup> IGC[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(2): 99-103.
- [50] 杨宗喜. 人类世呼之欲出, 中国地质学家应当有所作为[J]. 中国地质, 2017, 44(2): 411-412.  
YANG Zongxi. Anthropocene dawn, Chinese geologists should be active[J]. Geology in China, 2017, 44(2): 411-412.
- [51] 陈之荣. 人类圈·智慧圈·人类世[J]. 第四纪研究, 2006, 26(5): 872-878.  
Chen Zhirong. Anthroposphere · noosphere · anthropocene[J]. Quaternary Science, 2006, 26(5): 872-878.
- [52] 余谋昌. 地学哲学——地球人文社会科学研究[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2013.
- [53] RUDDIMAN W F. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago[J]. Climatic Change, 2003, 61(3): 261-293.
- [54] 刘东生. 第四纪科学发展展望[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 165-176.  
LIU Dongsheng. The prospects of quaternary science in China[J]. Quaternary Science, 2003, 23(2): 165-176.
- [55] 刘学. “人类世”地质时代已经形成-核武器、化石燃料、新材料、地层改变、肥料、全球变暖和生物灭绝等成为“人类世”开始的七大主要标志[N]. 中国矿业报, 2016-03-16(8).