

·成果简介·

陡山沱期海洋氧化与生物演化关系研究 取得重要进展

郭进义

(国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085)

[关键词] 陡山沱期, 海洋脉冲式氧化, 生物演化

“雪球地球”理论是地球科学界影响广泛、争议不断的一个假说。美国科学院院士、哈佛大学霍夫曼等人的“新元古代雪球地球”假说认为,在宏观后生动物出现之前的2亿年(大约7.5—5.5亿年前)间,由于罗迪尼亚超大陆的解体,增加的大陆风化作用过度消耗了大气圈的CO₂,造成了地球历史上最严重的新元古代冰期——“雪球地球”。其间可能至少有2次全球性的冰川曾推进到赤道地区的海平面,使海洋全部结成很厚的冰,地球成为了一个被冰雪覆盖的大雪球。尽管存在着新元古代的冰期究竟是“雪球”还是“泥球”的争议,但随着冰期温度的下降海洋能够从大气中吸收更多的氧气,这些氧气与海洋中悬浮的微小有机体作用产生碳酸盐,即通过浮游生物的呼吸作用释放出CO₂,这些气体最终帮助地球温度迅速反弹,这种温室效应对地球生物圈产生了保护作用。

我国科学家2007年在三峡地区陡山沱组底部发现的“滞育卵囊中动物胚胎”化石,将动物的起源时间提前到6.32亿年以前,将动物的化石记录前推了5千万年,即动物在新元古代晚期“雪球地球”事件结束之后就已经出现了。动物绝对需要氧气,海洋只有氧化了,海水中溶解的氧气达到一定浓度动物才会出现。也只有深海基本氧化了,才会发生多细胞生物的大幅射。动物演化的重要一幕发生在“寒武纪生命大爆发”之前的埃迪卡拉纪(6.35—5.42亿年前),是全世界科学家关注的焦点。为了解释在埃迪卡拉时期出现的生命的飞跃(动物的出现)以及随后复杂的生命现象,科学家们对阿曼、加拿大等地埃迪卡拉系剖面做过地球化学研究,但是由于缺乏地层年代、古生物化石等资料,无法将高分

辨的地球化学数据和古生物资料结合起来,直接论证海洋环境的变化对生命演化的影响。

三峡地区震旦系的研究已有80多年历史,全国地层委员会2005年重新定义的震旦系即相当于埃迪卡拉系,陡山沱组为这个系下面的一个岩性地层单元。2005年中外学者发表了多篇三峡地区锆石U-Pb年龄或SHRIMP锆石U-Pb年龄数据,将陡山沱组沉积年龄锁定在6.35—5.51亿年之间,使我国陡山沱组成为国际上第一个具有可靠同位素年龄数据的埃迪卡拉系地层剖面。10年来,中外学者先后在陡山沱组中发现了一些最早动物化石证据,曾在国际上产生重大影响。例如,在贵州瓮安陡山沱组上磷块岩(大约5.8亿年前)中发现的动物胚胎化石、原始海绵动物化石和两侧对称动物化石。不久前在三峡地区发现的6.3亿年前“休眠卵”动物胚胎化石。这些成果分别发表在国际著名的《自然》、《科学》杂志上。明确的年龄和丰富的早期动物化石记录使三峡地区成为研究埃迪卡拉时期古海洋环境与生物演化的理想地区,吸引了包括美国、日本、德国、加拿大、澳大利亚等多国学者前来考察和工作。

2002年美国《科学》杂志上发表了美国地球化学家安巴和古生物学家诺尔合署的述评文章,指出“元古代(25—5.42亿年前)大部分时期海洋的表面是含氧的,深部是硫化(含硫化氢)的,在这样的条件下大部分海洋环境会是缺少生物所需的微量金属,潜在地阻碍了氮循环,影响初级生产力,并限制了真核藻类的生态分布”。氧化还原敏感的微量金属(如Mo、Fe、Cu)是生物固氮酶中不可或缺的微量元素,起到无机生物桥的作用。元古代末期多细胞藻类和后生动物的出现标志着硫化(含硫化氢)海洋

本文于2008年3月28日收到。

的结束,也即深海的氧化。因此近几年人们关注的焦点转向海洋氧化与生物演化的关系,如海洋深部究竟是什么时候氧化的?生物的演化与海洋的环境变化究竟关系如何?

宜昌西陵峡观景三峡大坝的新公路开辟出的九龙湾剖面,是目前发现的出露最好、保存最完整、最连续的陡山沱组沉积记录。主要由碳酸盐岩、黑色页岩构成的陡山沱组沉积厚度近200米,这些岩石保存的多种地球化学代指标是研究古海洋氧化还原环境变化的重要证据。结合保存的丰富的大型疑源类化石的研究,能够揭示埃迪卡拉时期海洋氧化与真核生物多样性的耦合关系。

在国家自然科学基金等项目的共同资助下,中国科学院地质与地球物理研究所博士生黄晶(第二作者)、导师储雪蕾研究员(通讯作者)以及中国科学院南京地质古生物研究所周传明、袁训来研究员等同美国3所大学的学者合作,在2008年3月4日出版的《美国科学院院刊》(PNAS)发表了题为“埃迪卡拉系陡山沱组脉冲式氧化与生物演化”的论文,通过对三峡地区九龙湾等剖面陡山沱组开展高分辨的碳、硫同位素和大型疑源类古生物化石的研究揭示埃迪卡拉时期海洋脉冲式的氧化与大型疑源类化石出现、多样化和灭绝之间的关系。这篇论文对采自三峡地区九龙湾剖面完整的陡山沱组样品进行了高分辨的碳和硫的同位素和大型疑源类化石的研究分析。

麻省理工学院罗斯曼等人在2003年通过非稳态的碳循环模型的模拟,提出在新元古代冰期之后深海曾存在一个巨大的有机碳库,但一直没有被进一步证实。黄晶、储雪蕾等人的该项研究所获得的同位素地球化学数据显示陡山沱组下部拥有非常稳

定的有机碳同位素组成和扰动的无机碳同位素、微量硫酸盐同位素组成,表明陡山沱早期的海洋拥有巨大的有机碳库和低的硫酸盐含量,是一个还原的海洋。这与罗斯曼等人提出溶解有机碳库的模型完全吻合,证实了埃迪卡拉时期的海洋确实存在一个巨大的有机碳库,致使深海维持在缺氧,甚至硫化(含硫化氢)的状态。

该项研究还发现,陡山沱组中、上部的两次无机碳同位素负漂移显示了深部还原的海洋经历了两次脉冲式的氧化,直到陡山沱期结束之后溶解有机碳库源消失,深海才完全被氧化。结合大型疑源类化石的研究发现,海洋每一次的氧化事件都对应着一次生物多样性的发展。研究证明了早期埃迪卡拉真核生物的发展是沿着海洋氧化的轨迹进行的。这篇文章还通过全球对比提出,导致全球性的生物多样化发展的海洋完全氧化是在5.51亿年之后。

由于丰富的同位素地球化学数据和古生物资料,霍夫曼认为该论文给出的数据是至今得到的最详细的(环境)多种代指示资料,是关于多细胞动物成因与埃迪卡拉时期(先于寒武纪)古环境变化的最重要论文,对研究埃迪卡拉时期的海洋环境与生物演化具有重要价值。

我国学者在构思、数据分析和论文写作等方面都做出了重要的贡献。论文引用的数据平行来自中美两国的实验室,其中中方数据由中国科学院地质与地球物理所的稳定同位素地球化学实验室独立完成,包括碳酸盐、有机碳、微量硫酸盐和黄铁矿的碳和硫同位素分析。国内分析的数据与国外的数据完全可以对比,而且微量硫酸盐的数据质量还高于国外。

IMPORTANT PROGRESS ON THE RELATIONSHIP BETWEEN OCEANIC OXIDATION AND BIOLOGIC EVOLUTION IN THE PERIOD OF THE DUOSHANTUO STAGE

Guo Jinyi

(Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Key words duoshantuo stage, pulsed ocean oxidation, biologic evolution