

文章编号 1001-8166(2002)03-0311-03

穿越圈层 横跨时空

——记“地球系统过程”国际大会

汪品先

(同济大学海洋地质教育部重点实验室,上海 200062)

关键词 地球系统过程 地球系统演化

中图分类号 P5 文献标识码 A

1 概况

苏格兰的爱丁堡,称得上地球科学的一个发祥地。这里在 200 多年前,地质学创始人之一的赫顿 (James Hutton) 发表了《地球理论》(Theory of the Earth),当地的泥盆纪的火山口早已成为地质学家“朝圣”之地。这里有着地质学争鸣和创新的传统,200 多年前“火成派”与“水成派”一场著名的争论,曾经由“文斗”开始,以“武斗”告终;而爱丁堡皇家科学院的演讲会,也多次在地学史上留下了深深的脚印。2001 年 6 月,具有地质学历史意义的事件又在这里发生:英国和美国两个世界上最有影响的地质学会,联合举办“地球系统过程(Earth System Process)”国际大会,将地质科学推向新世纪的新阶段——地球系统科学的阶段。

来自几十个国家的 600 多名科学家,在 5 天的时间里(2001 年 6 月 24 ~28 日)聚首爱丁堡探讨两大问题:

(1) 地球系统的联系:岩石圈、水圈、气圈、冰圈和生物圈之间究竟是如何相互作用和相互联系的。

(2) 地球系统的演化:自从 45 亿年前太阳系形成以来,控制着地球特征的过程是如何变化的。

地质学家相信,固体地球科学“单干”的时代已经过去,当前学科发展在很大程度上取决于学科交织的深度。所以这次会议吸引了生物学、行星学、大气科学和海洋学等不同学科的专家参加,讨论的问

题也是穿越圈层、横跨时空,从太古代的光合作用讲到今天的温室效应,用地球上的“冰室期”、“暖室期”比较行星上的“全球变化”。活跃的思路和面向社会的命题,吸引了不少欧美的记者和媒体,是一次“雅俗共赏”的会议。

大会由爱丁堡大学两位教授的主题报告开场。A. Manning 教授回顾了地质历史上五大绝灭事件后指出:当前人类活动引起的第六次大绝灭,不见得会像过去那样带来适应辐射效应,除非能很快建立与自然环境之间的平衡。G. Boulten 教授在评论对地球系统演变的预测时问道:30 年前喊“冰期来临”,如今又说“全球变暖”,这让人们如何建立对科学家的信任?

会议分为 19 个专题和 7 个综合会,题目如表 1 所列。所有会议几乎全由西欧、北美和澳洲、新西兰专家主持,我们主持的“热带海洋在地球系统中的作用”专题会是唯一的例外。除分组会外,还邀请 3 位专家作大会报告,其中有哈佛大学 A. Knoll 的“生物演化的地质后果”,加州理工学院 M. Gurnis 的“从地球动力学角度看地球历史”和加拿大 J. Franklin 的“矿产资源与地球过程”。

2 主题

爱丁堡会议的跨度和信息量,都与通常的学术会议不同,因此很难进行全面的介绍,只能选少量突出的主题,做一简介。这里挑选 4 个专题讨论如下。

收稿日期:2002-01-14,修回日期:2002-02-24.

作者简介:汪品先(1936-),男,江苏苏州人,教授,中国科学院院士,主要从事海洋地质和海洋微体古生物研究。
E-mail:pxwang@online.sh.cn

表 1 “地球系统过程”大会分会主题

Fig 1 The Congress subtopic of Earth System Processes

专题会	
1. 太古代的地球与当时的生命:海洋生态系统从厌氧到喜氧的转变	11. 地球内部流体储库的联通性
2. 生物圈演化过程中热液系统的作用	12. 石油降解作用对深部生物圈的影响
3. 沉积系统与微生物群落:动态的相互作用	13. 剥蚀作用的时间尺度:从集水盆地到大陆
4. 地球历史中关键性转变及其机理	14. 地球系统的数据同一化
5. “雪球”假说:理论与证据	15. 大陆边缘流体渗出与浅层运移,及其对岩石圈、生物圈和水圈的影响
6. 显生宙生物分异与绝灭的控制因素	16. 水质问题的整合研究
7. 晚古生代的全球变化	17. 热带海洋在地球系统中的作用
8. 大陆边缘构造—沉积相互作用:地球系统模式的整合策略	18. 冰冻圈与生物地球化学循环的相互关系
9. 天然气水合物在行星及其生命演化过程中的作用	19. 第四纪气候快速变化的原因
10. 地球过程的耦合:断层和裂隙流中的变形、化学作用的热运动	
综合性会议	
1. 地圈、生物圈、水圈和大气圈的反馈与耦合	5. 地球资源
2. 地球系统的地质学演变:前寒武纪到早古生代	6. 脆弱与多灾环境
3. 地球系统的地质学演变:中生代到新生代	7. 地球系统过程的时间与速度
4. 环境与灾害的科学普及	

2.1 太古代大气圈的演化

地球演化的早期,大气层还原性并无争议,然而如何和何时由还原变成氧化,却大有争论。从地球化学的证据看到,25 亿年前进入元古代时大气方才含氧,但这与生物演化发生矛盾,因为化石证据表明蓝绿藻在 35 亿年前就已经出现。光合作用是改造大气圈化学成分的途径,然而光合作用本身有其演化过程,只有从蓝绿藻开始出现了与固氮作用同时进行的光合作用,才能为大气增添自由氧气。如果蓝绿藻出现比大气含氧早 10 亿年,就应当有制止光合作用所生氧气积累的机制。一种说法就是地幔物质成分的演化,25 亿年前的地幔性质与今不同,火山喷出物呈还原性,消耗氧气,等到地幔性质和火山喷出物发生变化,才允许光合作用为大气积聚氧气。如果此说法成立,那么应当是地球内部和生物圈共同铸造了含氧的大气。

2.2 生物演化的地质效应

除上述太古代的例子外,显生宙生物圈演化对地圈的影响同样十分明显。如泥盆纪时维管植物演化产生并覆盖大片陆地,加速硅酸盐岩石风化和磷的释放,进而减少大气 CO_2 、增加 O_2 、降低气温,而植物纤维素的出现导致大量有机碳(煤)的埋葬,大气成分的变化又引起晚古生代冰期的出现。上述植物群的演变,也带来了巨型昆虫的出现。大气演化中的这次“瓶颈”,要等到能够及时降解纤维素的微生物演化出现,才使 CO_2 含量再度回升。

以上生物演化和大气演化的密切关系,诱发了

70 年代初“盖娅(Gaia)假说”和“地球生理学”的提出。英国 James Lovelock 认为地球是一个超级生物,具有自我调节的能力,应当从生理学的角度进行研究。“盖娅假说”虽由于其某种宗教色彩的嫌疑而遭到非议,而其核心正是地圈与生物圈相互作用、协同演化的地球系统科学,近来日益受到学术界的重视。美国地球物理学会继 1988 年第一次“盖娅”讨论会后又于 2001 年在西班牙举行第二次讨论会,伦敦地质学会也在 2001 年组织专题讨论会,值得密切注意。

2.3 新元古代“雪球”假说

地质资料表明,在 8~6 亿 a BP 前,冰碛物在各大陆都有广泛分布,直抵赤道附近。这种现象虽然早在 60 年代已经发现,但 3 年前提出的“雪球”假说引起了轰动效应:推想那时冰雪把地球包成了个“雪球”,这种超级大冰期可能出现过 4 次,1 次延续近千万年。当时地球表面温度降到 -50°C ,海气之间的能量与水分交换几乎停止,大陆风化作用也无从发生……。爱丁堡会上的争论围绕两大问题:“雪球”说真的成立吗?如果真有,那原因何在?元古代的时间分辨率低,属于同期的冰碛物是否真的存在尚有怀疑,即便从“硬雪球”(全球包上冰雪)退到“软雪球”(赤道地区留道“缝”)假说也难以置信,因此“雪球”说能否成立至今存疑。至于可能的机制,早就提出过地球斜率过大($>56^\circ$)使赤道降温的解释,而现在流行的是大陆裂解而且分布在赤道附近,使陆地风化作用过强,消耗大气 CO_2 过多,温室效应过弱,从而导致冰盖极度发育的说法。

“雪球”期结束,地球迎来了“寒武纪生命大爆发”。上述论点虽然近年来获得许多同位素证据的支持,但这一连串假说的现实性远未证实,是当前地学界正在探索的热点。

2.4 热带大洋的作用

米兰柯维奇学说以^{65 N}接受大阳辐射量的变化解释第四纪冰期旋回,“大洋传送带”说又以北大西洋深层水的盛衰作为控制全球气候系统的关键,结论是北大西洋高纬区主宰着全球气候的变化。近年来海气交换的研究,发现“西太平洋暖池”是现代厄尔尼诺与季风变化的源地,而且这些低纬区的变化带动着高纬区的变化,同时,地质记录也发现大气CO₂的增减早于冰盖的消长,向流行的高纬决定论提出了挑战。会议强调了热带海洋,尤其是“西太平洋暖池”作为能量发散中心,从而驱动全球气候的观点,并提出在极地冰盖形成前,气候系统对地球轨道周期的响应主要来自热带,而冰盖形成后高、低纬区相互作用,共同驱动气候系统的观点。

当然,“地球系统过程”大会讨论的问题远远不止上述4个方面。如地幔演化史及其对地表系统的影响,生物圈寿命的预测,深海热液生物群的化石记录,以及在地球演化早期紫外线使甲烷聚合产生“反温室效应”的可能等,与相邻学科结合而产生的种种地球科学新问题,给与会者留下了一个又一个发人深思的问题。

3 感想

爱丁堡会议之所以充满了亮点和惊奇,原因在于它反映了近年来全球变化、深海探测、行星科学、同位素化学和基因研究等各方面研究的最新成果,及与地质科学相结合的进展。如果说原来主要是第四纪地质与“全球变化”联系密切,因而出现不少新意的话,那么这次大会的重点却是在显生宙的早期和前寒武纪,地球演化早、中期的圈层相互作用构成了会议的中心主题,标志着地质学已经作为整体进入地球系统科学的新阶段。

其实,地球系统的思想早在200多年前已经提出,跨越圈层的学术讨论无论国内、国外也都早已进行。但是真正从地球系统的高度开展地质学研究,

要求有必要的条件,过早的尝试再加上其他的原因,往往会陷入缺乏科学严肃性的谈论。现在看来,地球系统科学要求有以下3个条件:

(1) 覆盖全球的信息。20世纪板块理论导致的“全球构造”,产生了岩石圈的全球图景,遥测遥感技术的发展,为全球大洋和大气提供了全景,没有这类全局性资料,地球系统便难以建立。

(2) 穿越圈层的示踪剂。同位素化学和其他类似学科的发展,为研究圈层相互作用提供了途径,不少元素在地球化学或生物地球化学过程中发生同位素分馏,从而为圈层间的物质交流留下了踪迹。现在对于地球早期大气成分、光合作用类型等的研究,都以同位素为首要根据。

(3) 计算机模拟技术。几十年来,计算机模拟已经成为大气、海洋科学中不可缺少的手段,而在地质学中运用的相对欠缺。地球系统科学穿越不同时空尺度,除模拟之外别无他途。各种科学假设都只有通过模拟及其验证才能成立,因而模拟是从描述现象进步到探索机理的必要条件。

近年来我国的地质科学出现了喜人的繁荣景象,尤其在古生物化石和黄土古环境方面的研究成果已举世瞩目。同时也得承认,我国地球科学在理论探索上未见明显的重大突破并缺乏全球眼光,这与缺乏整合观念不无关系。我国发表了许多高质量的学术论文,材料性的仍占多数,在地球系统科学的层面上至今还缺乏重要进展。这次国际会议的许多报告中都以中国的地层剖面和化石为例,可惜报告人不属中国。如果说,地球科学19世纪的突破在于进化论,20世纪突破在于板块理论,那21世纪最大的突破是在地球系统变化的理论。进化论发表是在中国鸦片战争前后,板块学说产生是在“文革”浩劫期间,严重影响到我国对世界科学的革命性进展做出贡献。今天的情况不同,我国的地球科学在某些方面和国际的距离其实并不遥远,能不能及时认清方向、调整布局,利用我国自然条件和人力条件的优势,抓住地球系统中的关键问题取得突破,争取对世界科学有较大的贡献,这在很大程度取决于科技的决策层,当然更取决于我们的未来——年轻一代。