

撞击事件对古环境的影响^{*}

——来自 ODP1144 站 A 孔样品的证据

刘建忠^① 张 蕾^② 李春来^① 王世杰^{②③}
邹永廖^① 徐 琳^② 欧阳自远^{①②③}

(①中国科学院国家天文台, 北京 100012; ②中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002; ③中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要 本文通过对 ODP1144 站 A 孔 B/M 界线附近样品中微玻璃陨石的挑选和研究, 确定在中更新世曾发生过地外物体撞击地球的灾变事件。样品中浮游有孔虫壳体碳氧同位素的对比研究表明, 在微玻璃陨石事件发生的后期, 曾发生了浮游有孔虫壳体碳氧同位素组成的变化, 表现为 $\delta^{13}\text{C}$ 值的降低和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的增加。文中还探讨了其形成的原因。

主题词 撞击事件 古环境 ODP1144 站

灾变事件是地球演化过程中必然的频发过程, 灾变事件对地球演化历史的贡献在时空上也是不均衡的^[1]。因此, 研究灾变过程及其影响是探讨地球演化过程的重要组成部分。

地外物体以超高速通过大气层并压缩空气, 形成高温高压的冲击波, 撞击体本身汽化、爆炸、熔融、破碎; 冲击波撞击地面产生超强的地震和巨型海啸, 使相当于撞击体本身体积 200 倍的地面岩石汽化、熔融、破碎和溅射, 在该过程中形成了微玻璃陨石。撞击作用所产生的一系列滞后效应, 使大批生物灭绝。随着温室效应的增强古气候经历了由降温至升温的漫长过程。撞击作用是地质历史中产生古环境灾变、古气候旋回和生物灭绝及新生的主要营力之一。

海底岩芯中高度富集的微玻璃陨石层被视为陨石(或小行星)撞击地球的产物, 而且它们的发生与地磁事件有关, 研究它们可以为古环境的灾变研究提供有力的佐证。本文主要通过对 ODP1144 站 A 孔 B/M 界线(深度为 352.2 m)附近样品的研究, 确定撞击事件对古环境和古气候的影响。

1 引言

首次由中国人担任首席科学家, 并同时有 9 位中国学者参加的中国海区第一次大洋钻探 ODP184 航次, 揭开了中国地球科学研究的新篇章。南海的 ODP184 航次由于采用了液压取芯、一钻三孔等先进方法, 所以取得岩芯质量之高是当今世界之最。此次取得了近 32Ma

第一作者简介: 刘建忠 男 34岁 研究员 岩石学与地球化学专业 E-mail: jzliu007@lao.ac.cn

*国家自然科学基金(批准号: 49773204)资助项目、中国科学院知识创新工程项目(批准号: KZCX2-115)和中国科学院高新技术与发展局专项项目(批准号: KGCX2-406)

2002-06-30 收稿, 2002-08-17 收修改稿

以来的沉积记录, 由于深海沉积的连续性和所含古环境标志的众多类型, 加以边缘海的高沉积速率, 使南海建立起来的古环境序列在时间跨度、分辨率和古环境信息诸方面均超过其它类型和其它海区的剖面^[2]。特别是 ODP184 航次的 1144 站位, 沉积速率之高是世界上罕见的, 在中德合作 SONNE95—17940 孔附近, 通过 $\delta^{18}\text{O}$ 年龄与 AMS¹⁴C 测年相结合, 测得 40 000a.B. P. 以来沉积速率达 33cm/1 000a。而 1999 年 ODP184 航次测得 1144 站的平均沉积速率则高达 49cm/1 000a, 这里值得指出的是冰川的沉积速率才仅仅 40cm/1 000a^[1]。如此高的沉积速率可以反演百年尺度的夏季风变化和千年尺度的干—湿循环变化。同样, 该位置对于重新划分第四纪气候的高分辨率记录有重要的参考价值。

2 研究材料的一般特征

本文所研究的样品采自中国南海北部陆坡 ODP1144 站 A 孔(水深 2 037m), 该孔的岩芯只有连续的、次深海的细粒和黏土级陆源沉积物, 成分非常均匀。可以依据其中硫化铁、黄铁矿和硅化生物的丰度, 进一步分为 3 个亚类: IA 亚类(0~239.13m), 其主要特征是含有大量的铁硫化物; IB 亚类(239.13~359.87m), 与 IA 亚类最大的区别是黑色物质的突然减少, 该段包含有较多的硅化生物; IC 亚类(359.87~474.99m), 以含有大量的黄铁矿与其它两类相区别。本次研究的重点是 B/M 界线(孔深 352.2m)附近 318~356m 层位, 因此本文的研究对象来自于 IB 亚类。

重点通过 321.41~356m 的层位进行了微玻璃陨石的分析。结果在 348.55m(样号为 109)深度, 发现了 4 粒微玻璃陨石。同时从上述样品中挑出保存完好的浮游有孔虫 *Generic sacculifer* 壳体。

3 微玻璃陨石的特征

由于样品量较少, 所以给挑样工作带来了困难。微玻璃陨石的特征如下。

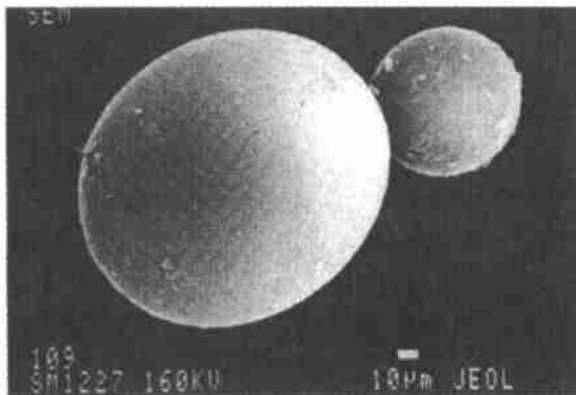


图 1 ODP1144 站 A 孔微玻璃陨石的扫描电子显微镜照片

Fig. 1 Electroscan microscope photo of microtektite in ODP site 1144 core A

1) Wang P, Prell W L, Blum P *et al.* Proceeding ODP initial reports 184. 2000

3.1 形态特征

微玻璃陨石呈近滚圆形的玻璃小球(图 1),最大的一粒直径可达 200 μm ,最小的一粒直径仅为 50 μm ,颜色为淡黄色,透明。

3.2 化学特征

表 1 列出了本次工作所挑选的 4 粒微玻璃陨石的化学成分以及澳亚群、北美群和象牙海岸群微玻璃陨石主量元素的变化范围, ODP1144 站 A 孔微玻璃陨石的 CaO , SiO_2 , Na_2O 含量略高于澳亚群的变化范围, K_2O , MgO , TiO_2 的含量介于澳亚群之间,而 Al_2O_3 , FeO 含量则低于澳亚群的变化范围。

表 1 ODP1144 站 A 孔微玻璃陨石的化学成分 /%
Table 1 Composition of microtektites of ODP site 1144 core A /%

	ODP1144 站 A 孔				澳亚群 ^[3]	北美群 ^[4-7]	象牙海岸群 ^[8]
	109-1	109-2	109-3	109-4			
Na_2O	2.751	2.127	2.484	2.060	0.2~1.9	0.00~3.38	1.41~2.03
NiO	0	0	0.002	0.011			
K_2O	0.787	1.060	0.901	0.711	0.1~3.7	0.05~9.37	1.12~2.87
MgO	4.158	4.344	3.935	4.399	1.9~27.3	0.44~18.6	2.01~7.69
FeO	0.282	0.758	0.295	0.251	3.0~9.6	1.13~13.08	5.70~8.61
CaO	6.676	6.553	5.773	6.355	1.0~5.8	0.27~19.19	0.22~1.82
Al_2O_3	1.120	2.928	7.211	2.861	7.5~22.1	3.99~25.30	12.75~17.33
MnO	0.025	0.027	0.036	0.040			
TiO_2	0.062	0.036	0.001	0.032	0.0~1.0	0.13~1.44	0.45~0.93
SiO_2	83.231	80.196	76.911	82.407	48.1~77.0	47.30~84.16	62.41~68.20
Cr_2O_3	0	0.220	0.022	0			
总计	99.092	98.249	97.571	99.127			

4 浮游有孔虫壳体碳氧同位素的特征

有孔虫同位素曲线已经成为古海洋研究中的一种常用的必不可少的重建古海洋、古气候和古环境的工具。有很多因素可以影响浮游有孔虫的碳氧同位素组成。一般来说,可以把这些因素划分为两大类,即海洋环境因素和浮游有孔虫生态因素^[9~11]。

海洋环境因素主要包括温度和盐度。例如,温度能够影响碳酸盐与水体系中的氧同位素分馏平衡,当达到热动力平衡时,随温度的升高碳酸盐与水体系中的 $\delta^{18}\text{O}$ 差值减小,也就是说高温条件下更多的 ^{16}O 进入了碳酸盐。由于有孔虫壳体是在海水中分泌形成的,因此,海水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 组成对有孔虫壳体有很大的影响,反之,有孔虫壳体中氧同位素的变化也记录了海水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化,从而可以反演古海洋环境的变化。

浮游有孔虫生态因素包括深度习性、生活温度范围、二次钙化和季节连续性。不同种的有孔虫受不同的生态环境限制,上述生态因素造成了不同种的浮游有孔虫之间碳氧同位素组成的差异。我们通过选择同一种有孔虫进行碳氧同位素组成分析,可以避开这种

由浮游有孔虫“生命效应”造成的同位素组成的变化,从而单独考虑海洋环境因素对浮游有孔虫同位素组成变化的影响。

4.1 碳氧同位素的测试

样品在 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 烘干,称重,然后置于烧杯中加自来水浸泡并轻微搅拌、分散。待完全分散后,用 0.093mm 孔径的标准筛冲洗分离,将筛样在 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 烘干。分别从每个样品中挑出外表干净、壳体完整,以及大小在 $0.30 \sim 0.42\text{mm}$ 之间的浮游有孔虫 *G. sacculifer* 7~12 枚。

样品在同济大学海洋地质教育部重点实验室进行测试。在 $< 60^{\circ}\text{C}$ 的温度状态下烘干样品,挑取未污染的个体若干。加无水酒精(浓度 $\geq 99.7\%$),在振荡频率为 40kHz 的超声波清洗器(Branson 200)中清洗 3 次,根据化石状况每次处理约 5~10 秒钟,倒去浊液,将样品置于约 60°C 的烘箱中烘烤 5 小时。尔后放入碳酸盐制备装置(Kiel IID 的样品瓶中,在 70°C 温度下经磷酸溶解后放出 CO_2 ,在稳定同位素质谱仪(MAT252)上分析其中的碳氧同位素比值。分析精度是用中国国家标准标样 GBW04405 检测的;2000 年分析检测的标准偏差 $\delta^{13}\text{C}$ 为 0.04% , $\delta^{18}\text{O}$ 为 0.07% 。与国际 PDB 尺度的衔接是通过国际标样 NBS19 和 NBS18 进行的。

4.2 结果与讨论

ODP1144 站 A 孔样品浮游有孔虫 *G. sacculifer* 壳体的碳氧同位素变化如图 2 所示,在氧同位素变化图(b)上,在微玻璃陨石富集层(348.55m)及其以上(到 345m),变化幅度明显较小,根据其沉积速率,在该段应为 $28.3\text{cm}/1000\text{a}$ 。按照这样的沉积速率换算,沉积时

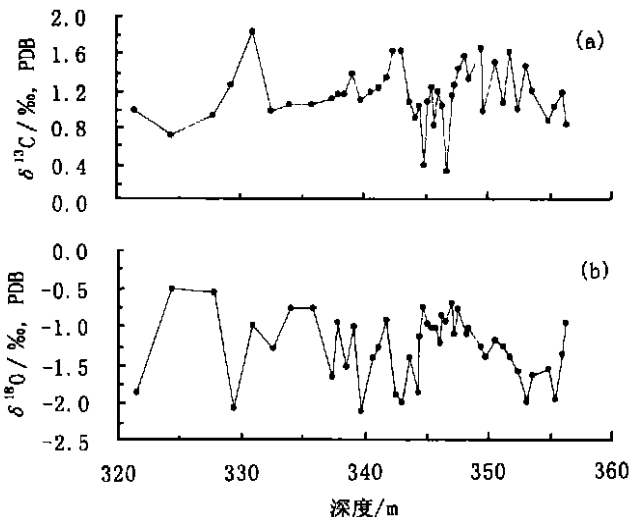


图 2 ODP1144 站 A 孔浮游有孔虫 *G. sacculifer* 壳体碳氧同位素随深度的变化
(a) 碳同位素 (b) 氧同位素

Fig. 2 The diagram of *G. sacculifer* foraminiferal shell carbon-oxygen isotope changes versus depth in ODP site 1144 core A

间约为 14 000a。也就是说,在微玻璃陨石事件发生后 14 000a 期间环境大致处于相同的状态,与其上、下段具有明显的区别,有一个明显的高值。在碳同位素变化图(a)中可以看出,深度 345~349m,浮游有孔虫 *G. sacculifer* 壳体的碳同位素与该段上、下相比有明显的变化,前者碳同位素数值均偏低,在该图上形成一个明显的低的峰值。可见在微玻璃陨石富集层以上部分,浮游有孔虫 *G. sacculifer* 壳体的碳氧同位素均发生了明显的变化,而且发生的时间和变化的周期都非常接近。氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值的升高,表明当时海水温度降低^[12];而 $\delta^{13}\text{C}$ 值的降低,意味着当时海水生产力的降低,也表明了海水温度的降低^[13]。在 345m 深度以上,浮游有孔虫 *G. sacculifer* 壳体的碳氧同位素又都发生了相反的变化,代表着古海水温度的再次升高。

上述浮游有孔虫壳体碳氧同位素组成的突然变化,以及微玻璃陨石的发现,无疑标志着一次撞击事件的发生,而撞击事件的发生又对古环境形成了非常大的影响;反之,这种环境的变化又被忠实地记录在海洋浮游生物壳体的稳定同位素组成上。

5 结 论

ODP184 航次 1144 站 A 孔 BM 界线附近样品中微玻璃陨石的发现,以及海洋中浮游有孔虫 *G. sacculifer* 壳体的碳氧同位素变化特征的分析研究表明,在中更新世曾发生了地外物体撞击地球的事件,并对古海洋和古环境造成了巨大的影响,使得海水的温度显著降低,海洋中的浮游有孔虫壳体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低,而 $\delta^{18}\text{O}$ 值升高。

其主要的原因是当地外物体撞击地球表面时,巨大的能量将部分靶岩熔化、气化,在一定程度上改变了大气中 CO_2 的同位素组成,同时将大量各种粒度的岩屑和冲击尘埃带入平流层甚至同温层,并向全球扩散,大大减少了太阳的辐射量,使气温下降,光合作用降低,海洋中的生物活动减弱,表层海水中从无机碳转移到生物体中的 ^{12}C 的量减少,生物泵作用相对减弱,从而使海水中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。而氧同位素由于受温度降低的影响,导致 $\delta^{18}\text{O}$ 值升高。

参 考 文 献

- 1 欧阳自远等. 小天体撞击与古环境灾变. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997. 1~35
- 2 Wang L, Wang P. Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: Glacial interglacial contrasts in an enclosed basin. *Paleoceanography*, 1990, 5: 77~90
- 3 Cassidy W A, Glass B P, Heezen B C. Physical and chemical properties of Australasian microtektites. *Journal of Geophysical Research*, 1969, 74: 1 008~1 025
- 4 D'Hondt S L, Keller G, Stallard R F. Major element compositional variation within and between different late Eocene microtektite strewnfields. *Meteoritics*, 1989, 24: 61~72
- 5 Glass B P, Burns C A. Late Eocene crystal-bearing spherules two layers or one? *Meteoritics*, 1987, 22: 265~278
- 6 Glass B P. North American tektite debris and impact ejecta from DSDP site 612. *Meteoritics*, 1989, 24: 209~218
- 7 Frey F A. Microtektites: A chemical comparison of bottle green microtektites, normal microtektites and tektites. *Earth and Planetary Science Letters*, 1977, 35: 43~48
- 8 Glass B P. Silicate spherules from impact area: Electron microprobe analysis. *Science*, 1969, 161: 891~895
- 9 苍树溪, 阎 军. 西太平洋特定海域古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 3~26
- 10 同济大学海洋地质系. 古海洋学概论. 上海: 同济大学出版社, 1989. 6~58

- 11 Schmidt G A. Forward modeling of carbonate proxy data from planktonic foraminifera using isotope tracers in a global ocean model. *Paleoceanography*, 1999, **14**: 482 ~ 497
- 12 Rostek F, Ruhland G, Bassinot F C *et al.* Reconstructing sea surface temperature and salinity using $\delta^{18}\text{O}$ and alkenone records. *Nature*, 1993, **364**: 319 ~ 321
- 13 Shackleton N J, Hall M A, Pate D *et al.* High-resolution stable isotope stratigraphy from bulk sediment. *Paleoceanography*, 1993 **8**: 141 ~ 148

IMPACT EVENTS AND ITS EFFECTS ON PALAEOENVIRONMENT: EVIDENCE FROM ODP SITE 1144 CORE A

Liu Jianzhong^① Zhang Lei^② Li Chunlai^① Wang Shijie^{②③}
Zou Yongliao^① Xu Lin^② Ouyang Ziyuan^{①②③}

(① National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012) (② Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002) (③ State Key Laboratory of Environment Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract

The study on microtektites of Ocean Drilling Project (ODP) site 1144 core A around Brunhes/Matuyama boundary indicated the impact event had happened in mid-Pleistocene. In this paper we use shell of foraminifera *G. sacculifer* to determine their C and O isotope compositions. The results indicate that C and O isotope components had changed ($\delta^{13}\text{C}$ reduced and $\delta^{18}\text{O}$ ascend) in the late stage of microtektite event. The main reason of changes of C and O isotope components is because a part of target rock can be melted and boil away by huge energy when extraterrestrial object shocked the Earth so the oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotope composition of atmosphere can be transferred and in the mean time a large of clastic debris and shocking dust can be displaced into stratosphere and diffused to the seven seas. These clastic debris and shocking dust can reduce radialization of the sun and result in the temperature and photosynthesis reduced, so biologic acts weakened and amount of CO_2 decreased. In relative to carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotope composition, the oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotope composition is ascend.

Key words Impact event, palaeoenvironment, ODP site 1144