巨大撞击事件诱发古气候旋回的初步研究

欧阳自远 管云彬

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

关键词 撞击事件、古气候旋回、温室效应、反温室效应

古气候研究^[1,2]表明,地质历史中气候旋回的形成与下列原因有关:(1)天文因素。Milankovitch 较系统地提出日地相对位置的变化可造成时间尺度为几万年的周期性气候变化,但天文因素难以解释某些非周期性突发古气候波动的成因;(2)太阳常数。是影响气候在数亿年或更长地质历史中发生变化的因素之一;(3)地形及与其有关的海岸位置的变化可在数十万年内明显改变大范围内的气候条件;(4)大气成分。如 CO₂ 含量的自然变化对十万年以上的古气候波动有重要影响。作者认为,除上述原因外,巨大地外物体撞击作用是诱发古气候旋回,尤其是非周期性突发性撞击引起的古气候旋回的重要因素之一,其影响时间尺度约为数十万年以上。本文依据新生代确证的 6 次巨大撞击事件的基本特征及相应时期古气候变化的地质地球化学记录,对此加以阐述。

一、巨大撞击事件诱发古气候旋回的机制和过程

对地球上近百个陨石撞击坑的研究表明^[3],在整个地质历史中,巨大撞击事件不断发生。某些足以引起全球强烈灾变效应的巨大撞击事件发生的频率可以与生物地层学阶段的平均演化时间尺度相比拟^[4]。表 1 列出了新生代中 6 次有确凿证据的地外撞击事件的基本特征。其中,65Ma 和 2.4Ma 的撞击事件分别为白垩纪/第三纪(K/E)和第三纪/第四纪(E/Q)界线事件,而形成 4 次玻璃陨石事件的撞击作用则分别发生于 34、15、1.1Ma 和 0.7Ma^[3,5,6]。

表 1 新生代中 6 次巨大撞击事件的基本特征

年 龄 (Ma)	撞击坑直径 (km)	地理位置	撞击能量 (Mt TNT)	平流层尘埃增量 (t)	平流层尘埃密度 (g/cm ³)	参考文献
65	225	22°N83°W	1.3×10^8	1.0×10^{14}	2.0×10	[6]
34	100	71°N111°E	8.6×10^7	8.9×10^{12}	1.8	[3]
15	24	49°N11°E	6.7×10^5	1.2×10^{14}	2.5×10^{-2}	[3]
2.4	10	58°S90°W	3.4×10^4	8.9×10^9	1.8×10^{-3}	[5]
1.1	10.5	6°N10°W	4.0×10^4	1.0×10^{10}	2.1×10^{-3}	[3,5]
0.7	10	49°N61°E	3.4×10^4	8.9×10^9	1.8×10^{-3}	[3,5]

据“核冬天”模拟研究^[7],基本型核战争(总爆炸当量为 5000Mt TNT)将产生剧烈的气候效应:大量的爆炸烟尘进入平流层中,在其中滞留数周至数年之久,阳光辐射在一段时间内减少 90%,反温室效应可使陆表温度骤降 25℃,整个陆地将覆盖冰雪,温度-冰雪-反射率正反馈

本文 1991 年 4 月 17 日收到, 1991 年 11 月 25 日收到修改稿。

机制使降温进一步加剧,形成“核冬天”。而撞击能量更为巨大的地外物体撞击(表1),自然会更强烈地改变大气热动力学状态,对大气成分、气溶胶含量、大气光学物理特性乃至全球反射率等气候条件产生巨大的灾变效应,从而导致突发性全球气候波动。

直径数公里至十几公里的陨星高速(15—75km/s)冲入地球大气层,产生巨大的冲击波。一方面,撞击体在大气层中剧烈熔融、气化和爆炸,绝大部分陨星物质以微细的气溶胶颗粒飘浮于平流层之中;另一方面,极强的冲击波产生的超高压、超高温使近于撞击体质量200倍的地壳岩石、土壤等物质气化、熔融、粉碎,并溅射至100km的高空。此外,冲击波使地表大面积森林燃烧,甚至引起全球性大火^[8],导致极大量的烟雾及炭黑进入平流层中。由于上述原因,平流层中气溶胶浓度急剧增大,平流层的透明度极大降低,持续数年之久或更长时间。如果按平流层气溶胶质量增加 $0.8 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$,太阳总辐射降低1%^[2]计算,则据表1数据可以推知,撞击后的大气平流层对阳光辐射几乎是“不透明”的。气象学太阳常数(即到达对流层上界太阳能通量)由此极大地减小,幅度不小于95%。据大气-海洋-冰盖系统定常状态的热状况模式^[2],太阳常数减小40%,地球将自无冰状态转变为全部冰川状态;在有现代极冰的条件下,若太阳辐射降低百分之几,就可导致全球冰川化,随之而来的是地表平均气温下降60—100℃。因此,巨大撞击事件完全具有形成“白色地球”的气候灾变能力,其反温室效应导致的降温幅度将会更大。

此后,随着大气平流层中微粒的沉降,气溶胶光学厚度减小,阳光辐射逐渐得到恢复,但是,地表并不会因此而显著增温。相反,雪被及冰盖的高反射率对寒冷气候产生巨大的正反馈作用,使降温进一步加剧。

巨大撞击事件对古气候产生上述降温效应的同时,还存在着以下增温效应。

首先,大气中高浓度的撞击成因微粒吸收地表长波辐射,使平流层下层显著加热,可达几度;当太阳辐射量很小时,对流层较大的云量可使地面气温升高;同时,地面平均气温的降低可使长波辐射减弱,对气候产生负反馈作用,而使地表增温。

其次,巨大撞击作用可导致森林大火或全球性大火、诱发断裂构造活动和火山喷发,加剧地球深部脱气作用,从而使大气成分发生变化,温室气体浓度急剧升高,产生强烈的温室效应。如从K/E界线粘土层中发现的 10^{17}g 灰烬推断,撞击诱发的森林大火产生了比现在大气层中多15倍的 CO_2 、4000倍的 CO 、30倍的 CH_4 和7倍的 N_2O ^[9]。按 CO_2 、 N_2O 各增加一倍,地球平均气温分别升高2—4℃和0.5℃,并充分考虑 CO 、 CH_4 、 O_3 和 H_2O 等温室气体的增温效应,则仅K/E撞击事件中森林大火形成的温室气体就会使地表平均温度上升十几度至数十度。因此,巨大撞击事件后,各种成因的温室气体的总体升温效应必定更为强烈。

综合上述降温/升温双重效应,可以认为,在撞击后相当长一时期内,温室效应不足以抵消反温室效应,巨大撞击事件对古气候产生的净灾变效应以降温为主。估计地表平均气温在撞击后将下降数十度,导致全球冰川化,形成新的冰期。

据布德科热状况模式^[2],破坏全球冰川化,太阳常数必须增大约40%。若仅靠太阳常数自身变化,需经数十亿年才能达到,地质历史中这种状况显然是不存在的。实际上,巨大撞击后强烈的温室效应及后期地质演化过程中的火山喷发和构造活动等因素极大地缩短了破坏全球冰川化所需的时间。据地质学及古气候资料,该时间尺度应为数万至十几万年。

全球冰川化破坏过程中,古气候仍会发生剧烈灾变。由于强烈的温室效应和气候反馈机制,地球平均气温在初始阶段不断上升,可高达100℃^[2]。而后经过数万年或十几万年的演变

过程,古气候系统才逐渐趋于正常水平。

二、巨大撞击事件诱发古气候旋回的地质记录

古气候波动的信息会充分反映在各种地质地球化学记录之中。据稳定同位素组成、碳酸盐补偿深度、沉积组合标志、海平面升降变化和化石生物系统分析等研究^[1,2],白垩纪晚马斯特里赫特期(约 65Ma B.P.),古气候突然发生强烈的全球性变冷,大洋表层水温度下降约 10℃,随后则又表现出明显的变暖,该冷暖旋回持续时间约 2Ma;在 34Ma 前的渐新世,古气候也存在一冷暖交替和海平面急剧升降旋回;中新世中期(15Ma B.P.)、E/Q 界线处 (2.4Ma B.P.)、1.1Ma B.P. 和 0.7Ma B.P. 左右,均存在全球性的冷-暖气候旋回。尤其是 2.4Ma B.P. 以来,各撞击时期的古气候波动信息在中国黄土地层中有着较准确一致的记录^[10]。

巨大撞击事件诱发古气候旋回的更直接有力的证据则来自对撞击层附近气候变化的研究。在对西藏岗巴 K/E 界线粘土层的研究^[11]中,作者发现 $\delta^{18}\text{O}$ 表现出一明显的峰值:从 -11.44‰ 剧增到异常层中的 -7.92‰,随后又剧减至 -12.29‰。该 $\delta^{18}\text{O}$ 峰值表示了降温 (15—17℃) —升温 (20—22℃) 过程。 $\delta^{13}\text{C}$ 值也存在与氧同位素组成相似的变化趋势,反映了随古气候波动,海洋生物产率的相应变化。根据氧同位素变化的地层厚度,可估算出古气候旋回经历的时间。对于 0.7Ma B.P. 撞击事件,作者已在洛川黄土剖面的 L₇ 层中发现了撞击成因的微玻璃陨石¹⁾,而该层位正处于一周期为 0.1Ma 的古气候波动的开端^[10]。

应当指出,在界线撞击事件的诸多研究中,往往只看到反温室效应或温室效应之中的某一方面,并由此来论述撞击作用的气候灾变效应^[5,9],这是不全面的。实际上,降温和升温是同一撞击灾变过程中的两个不同演化阶段。据对世界部分地区撞击界线中古气候变化的地层厚度统计计算,这两个阶段各自持续时间约为数万至十几万年。

地质历史中,巨大地外物体撞击事件是诱发非周期性突发古气候旋回的重要因素之一。其机制在于强烈改变大气热输送动力学状态,引起一系列气候条件的剧烈灾变,其过程包括降温—升温两个演化阶段。

地质地球化学记录表明,新生代中 6 次巨大撞击事件均和一定的古气候波动存在着时间上的匹配性,指示了它们之间的成因联系。

当然,巨大撞击事件诱发古气候旋回的研究中,尚有许多问题有待进一步探讨,这依赖于对具体撞击界线处古气候信息的综合认识。

参 考 文 献

- [1] Frakes, L.A., *Climates Throughout Geologic Time*, Elsevier Scientific Publishing Company, 1979.
- [2] M. N. 布德科,气候的过去与未来(翁笃鸣等译),气象出版社,1986.
- [3] 欧阳自远,天体化学,科学出版社,1988.
- [4] McLaren, D.J. et al., *Annual Review of Earth & Planet. Sci.*, 1990, 123—171.
- [5] Kyte, F.T. et al., *Science*, 241 (1988), 63—65.
- [6] Bohor, B. et al., *Nature*, 344(1990), 539.
- [7] Turco, R.P. et al., *Scientific American*, 251 (1984), 2:23—33.
- [8] Wolbach, W.S. et al., *Science*, 230(1985), 167—170.
- [9] Crutzen, P.J., *Nature*, 330(1987), 108—109.
- [10] 刘东生等,第四纪研究,1990,1: 1—9.
- [11] 周磊、欧阳自远,兰州生物与气体地球化学开放实验室年报,1986,1—33.

1) 欧阳自远等,黄土剖面中微玻璃陨石的发现及意义(待刊)。