

文章编号: 1009-3850(2013)04-0106-05

陨击天文事件与新生代全球气候变化

傅 恒, 高雁飞, 肖重阳

(成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059)

摘要: 全球范围内已确认的新生代陨击天文事件有 8 次, 根据陨击直接证据或板块构造演化等推测的陨击事件至少还有 3 次, 这些陨击天文事件都对应了新生代不同程度的气候变化。新生代全球气候变化的触发因素主要包括陨击天文事件、地球轨道参数变化、CO₂ 浓度降低和全球碳循环变化、海洋及大气系统大量甲烷水合物释放、洋流变化及全球规模的构造运动(如构造隆升、超地幔柱、大规模火山活动)等, 陨击天文事件是全球气候变化最主要的触发因素。

关键词: 陨击天文事件; 全球气候变化; 新生代

中图分类号: P542

文献标识码: A

新生代已确认的陨击天文事件至少有 8 次^{[1][2]}, 根据陨击直接证据或板块构造演化等推测的陨击事件至少还有 3 次, 这些陨击事件都对应了新生代程度不同的气候变化。

气候变化的触发因素一直是古气候研究的焦点。自 20 世纪 70 年代以来, 不同研究者相继提出了多种假说, 例如将洋流变化、CO₂ 浓度降低和全球碳循环变化、高原隆升、火山活动、天体撞击、地球轨道参数变化等因素与始新世—渐新世气候转变的驱动机制相联系^[3]。

天文事件可以引起构造隆升、火山活动、洋流变化、CO₂ 浓度降低和全球碳循环变化, 是新生代全球气候变化最主要的触发因素。

1 新生代陨击天文事件

新生代已确认的陨击天文事件至少有 8 次, 即加勒比海陨击事件(65Ma)、北美玻璃陨石事件(34Ma)、俄罗斯西伯利亚陨击事件(24Ma)、捷克玻璃陨石事件(15Ma)、俄罗斯南乌拉尔陨击事件(6.2Ma)、南太平洋陨击事件(2.4Ma)、象牙海岸玻璃陨石事件(1.1Ma)和澳-亚玻璃陨石事件(0.73Ma)^{[1][2]}。此外, 根据陨击直接证据或板块构造

演化推测的陨击事件至少还有 3 次, 即有陨击直接证据的 55Ma 陨击事件, 以及推测的日本海陨击事件(45Ma)、德雷克海峡陨击事件(41Ma)。

加勒比海陨击事件(65Ma), 发生在白垩纪/第三纪(即中生代/新生代)之交。目前大部分学者都趋于认同 K/T 事件为一次地外撞击事件, 直接证据是墨西哥 Yucatan 半岛直径约 180 km 的 Chicxulub 撞击坑(Hildebrand, 1991)^[4], 以及全球 K/T 剖面已达 120 多个 Ir 正异常记录和 K/T 含恐龙和菊石灭绝在内的表层短期生物集群灭绝事件(属灭绝率为 48%, 种灭绝率为 60%~80%; 浮游有孔虫灭绝率极高, 底栖有孔虫灭绝率相对较低)^[5]。

55Ma 的陨击事件, 发生在古近纪古新世/始新世之交, 陨击直接证据有玻璃质飞溅状玻陨石、微玻陨石、撞击石英、焦石英、柯石英和 Ir 正异常^[5], 以及富铁磁性微粒^[6]。可能由陨击触发的 PETM (Paleocene – Eocene Thermal Maximum) 最热事件造成了大洋环流模式的突然倒转和海水盐度、大气湿度的迅速上升; 海洋表层生态系统和陆地生态系统生产力迅速上升; 大洋底栖微生物发生集群灭绝, 哺乳动物演化进程发生重大改变, 植物、动物、微生物许多属种的生活范围向高纬区扩大; 地球表层碳

循环系统发生不同程度的碳同位素负偏移,全球碳循环系统发生大规模搅动^[6]。

45Ma 的日本海陨击事件,是作者根据板块构造演化和日本海形态推测的陨击事件,还需陨击直接证据证实^[7]。陨击地点位于现今日本海,形成的巨型陨石坑——日本海盆是欧亚、太平洋、菲律宾各大板块汇聚的中心。此次陨击将日本列岛与东北亚大陆分离,形成东北日本逆时针、西南日本顺时针的双开门式旋转。此次陨击还使朝鲜地块逆时针旋转式东移,导致郯庐断裂带的第4次构造热事件(45Ma)。陨击引起东北亚大陆边缘广泛发育玄武质岩浆活动。陨击改变了太平洋板块的运动方向,由原来的 NNW 向在 43Ma 时转变为 NW 向。陨击还使古太平洋板块西部破裂形成菲律宾板块锥形,破裂带形成小笠原海沟-岛弧系。陨击及其后效还引起 43~35Ma 的阿尔金断裂开始新生代第一次脉冲式左行走滑,显示华北地块整体向东(日本海方向)移动,可能也是后期波斯湾、红海拉张的源动力。陨击及其后效还引起 30~25Ma 贝加尔湖裂谷的形成^[7]。

41Ma 的德雷克海峡(Drake Passage)陨击事件,是作者根据德雷克海峡打开时间和形态推测的陨击事件,也需陨击直接证据证实。Howie D. Scher 等(2006)根据钕(Nd)同位素跟踪洋流变化判断,约 41Ma 时,较大范围的太平洋表层洋流进入大西洋导致大西洋 ϵNd 值升高,表明德雷克海峡开启;随后在始新世晚期 ϵNd 值增加很可能表明海峡进一步拓宽并加深^[8]。第三纪初南美洲南部和西南极洲之间曾有一狭窄的陆地相连,由于东南太平洋沿沙克尔顿断裂带断裂作用使阿卢克海岭向东扩展使南美-南极陆桥分离^[9]。但作者根据德雷克海峡形态判断,南美-南极陆桥分离形成德雷克海峡很可能是源于约 41Ma 的一次自西向东的低角度陨击。

34Ma 的北美玻璃陨石事件,发生在古近纪始新世/渐新世之交。陨击直接证据有北美玻璃陨石、微玻璃陨石及冲击矿物,同期还有意大利安科纳冲击石英及 Ir 正异常^[2]。陨击位置 71°N 、 111°E ,陨击坑直径达 100km,撞击能量相当于 $8.6 \times 10^7\text{Mt TNT}$,平流层尘埃增量达 $8.9 \times 10^{12}\text{t}$ ^[10]。陨击引起的 E/O 骤冷事件是地史上重要的全球气候加速变冷时期,深水降温 $7 \sim 8^{\circ}\text{C}$,整个事件发生迅速而短暂,持续时间不超过 20 万年。E/O 事件生物绝灭出现两个特点,一是表层浮游有孔虫绝灭率高,底栖

有孔虫绝灭率中等;二是绝灭持续时间较长(约 4Ma),浅水软体动物绝灭率达 68%~97%^[5]。

24Ma 的俄罗斯西伯利亚玻璃陨石事件,发生在古近纪/新近纪之交前不到 1Ma,陨击直接证据有俄罗斯西伯利亚玻璃陨石^[2]。

15Ma 的捷克玻璃陨石事件,发生在新近纪中新世,陨击直接证据有捷克莫尔达维玻璃陨石^[2]。陨击位置 49°N 、 11°E ,陨击坑直径 24km,撞击能量 $6.7 \times 10^3\text{Mt TNT}$,平流层尘埃增量 $1.2 \times 10^{11}\text{t}$ ^[10]。MM 事件深水底栖有孔虫绝灭率为 35%~52%,全球气候变冷^[4]。

6.2Ma 的俄罗斯南乌拉尔玻璃陨石事件,发生在新近纪上新世,陨击直接证据有俄罗斯南乌拉尔玻璃陨石^[2]。

2.4Ma 的南太平洋陨击事件,发生在近第三纪/第四纪之交。陨击直接证据有南太平洋小行星残骸及 Ir 正异常,北太平洋微玻璃陨石及亲铁元素丰度正异常^[2]。陨击位置 58°S 90°W ,陨击坑直径 10km,撞击能量 $3.4 \times 10^4\text{Mt TNT}$,平流层尘埃增量 $8.9 \times 10^9\text{t}$ ^[10]。

1.1Ma 的象牙海岸玻璃陨石事件,发生在第四纪更新世。陨击直接证据有微玻璃陨石、Ir 正异常、低¹⁸⁷Os/¹⁸⁶Os 比^[2]。陨击位置 6°N 、 10°W ,陨击坑直径 10.5km,撞击能量 $4.0 \times 10^4\text{Mt TNT}$,平流层尘埃增量 $1.0 \times 10^{10}\text{t}$ ^[10]。

0.73Ma 的澳-亚玻璃陨石事件,发生在第四纪更新世。陨击直接证据有澳大利亚玻璃陨石、微玻璃陨石、冲击矿物及 Ir 正异常^[2]。陨击位置 49°N 、 61°E ,陨击坑直径 10km,撞击能量 $3.4 \times 10^4\text{Mt TNT}$,平流层尘埃增量 $8.9 \times 10^9\text{t}$ ^[10]。同期,我国陕西发现了微玻璃陨石及铁质微球粒,危地马拉蒂卡尔发现了 0.8Ma 的玻璃陨石^[2]。

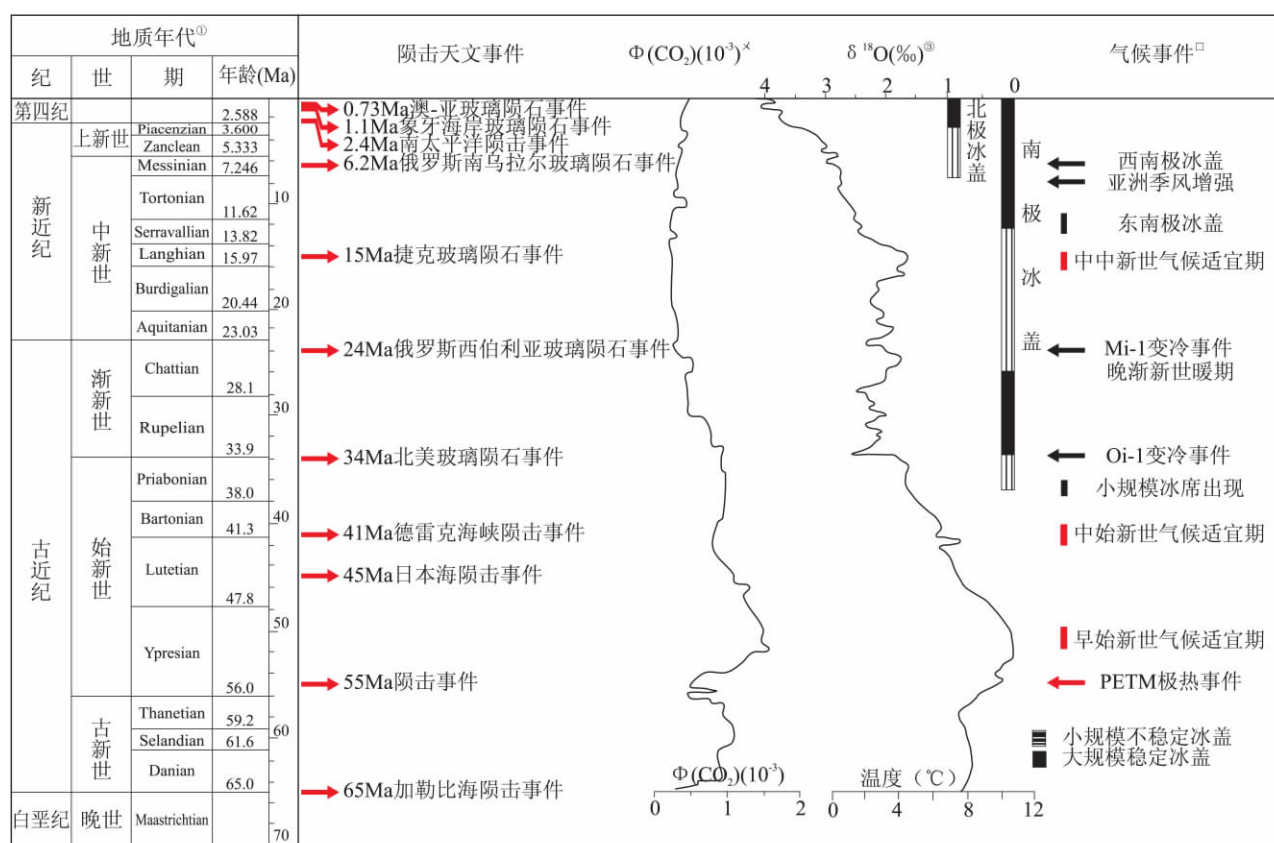
2 新生代气候变化

反映新生代全球气候变化分辨率较高的指标为深海底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ ^{[11][12]},新生代全球气候变化与大气温室气体 CO_2 浓度具有一致性^{[12][13]}(图 1),图中反映 CO_2 浓度大尺度变化的指标 $\Phi(\text{CO}_2)$ 系依据海洋浮游植物 $\delta^{13}\text{C}$ 、海洋 $\delta^{11}\text{B}$ 、维管植物化石叶孔指数、古土壤成壤碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 及地钱植物化石 $\delta^{13}\text{C}$ 重建^[12]。多数情况下, CO_2 浓度较高时期对应于气候温暖期^[12]。将新生代陨击天文事件发生时间与新生代全球气候变化对比发现,天文事件对应了程度不同的气候变化。

65Ma 的加勒比海陨击事件, K/T 界线附近 $\delta^{13}\text{C}$ 明显正偏, 欧洲 $\delta^{18}\text{O}$ 增加 2‰~3‰, 温度下降 8~13℃^[5]。撞击降温最低至 225K (-48℃), 降温阶段持续近 1000d, 缓缓升温至正常需近 5000d, 整个温度效应持续 5000 d (近 14a)^[15]。撞击作用还使海洋 pH 值增大, 海洋中 CO_2 溶解度增大, 直接导致大气中 CO_2 含量的下降, 大气和海洋 CO_2 重新平衡需 103~105a^[5]。

55Ma 的陨击事件, 可能触发了 PETM (Paleocene – Eocene Thermal Maximum) 最热事件, $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 剧烈波动, 反映温度在约 2Ma 内至少经历了两次降温-升温过程(图 1)。地球表层碳循环系统发生不同程度的 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏, 全球碳循环系统发生大规模搅动^[6]。底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 下降 2.0‰, 深水浮游中间类型 $\delta^{18}\text{O}$ 下降 1.5‰, 浅水浮游型 $\delta^{18}\text{O}$ 下降 1.0‰, 说明温度发生差异性下降。表层水温

升高 5~6℃, 最高 20℃; 底层水温升高 4℃, 最高 15℃。整个温度更替不超过 1 万年, 随后 10 万年内逐渐降温。底层水迅速变暖是导致底栖有孔虫大规模绝灭的主要原因, 40% 深水生物分类单元在不到 1 万年内迅速绝灭, 33%~65% 深水底栖有孔虫消失, 浮游绝灭率极低, 为中深水短期集群灭绝事件^[5]。全球高纬度海区的表层海水温度在 PETM 事件开始不到 30 ka 时间内上升 8~10℃, 北极地区表层海水平均温度高达 24℃; 热带亚热带海区表层海水温度上升约 4~5℃, 全球底层海水温度上升 4~5℃左右; 高低纬海区间温度升高幅度的不平衡造成极地地区与热带地区温度差减小, 从而使全球底层水形成中心由南半球转移到了北半球; 大洋底层水形成中心的转移造成全球大洋环流模式发生了倒转, 整个倒转的发生只是在不到 5 ka 的时间内完成的, 而之后却花了将近 200 ka 恢复到原来的状态^[6]。



说明: ①地质年代据国际地层表(2012); ② CO_2 重建指标据周鑫等(2009); ③深海有孔虫氧同位素据周鑫等(2009); ④气候事件据田军等(2009)。

图 1 陨击天文事件与新生代全球气候变化

Fig. 1 Relationship between the meteorite-impact astronomical events and global climatic changes during the Cenozoic

推测的 45Ma 日本海陨击事件, 对应了一次持续约 1Ma 的 $\delta^{13}\text{C}$ 小规模正偏, $\delta^{18}\text{O}$ 由早始新世气候适宜期缓慢上升过渡到中始新世气候适宜期急剧上升, 结束了持续约 8Ma 的新生代全球温度最高

的早始新世气候适宜期, 反映气候在整体适宜的背景下持续降温(图 1)。由于 45Ma 的日本海陨击事件发生在当时欧亚大陆东北部, 推测对海洋生态的影响可能不大。

41Ma 的推测的德雷克海峡陨击事件,对应了 54~32Ma 的 $\delta^{13}\text{C}$ 最低值, $\delta^{18}\text{O}$ 出现了一次约 0.4‰、持续约 1Ma 的明显负偏,结束了持续约 4Ma 的中始新世气候适宜期,对应了一次规模不大的降温-升温-降温过程(图 1)。41Ma 的德雷克开启及其后海峡进一步拓宽并加深,对新生代全球气候改变的意义深远。根据 Kennett 等(1976、1977)的热隔离假说,由于德雷克海峡的开启以及始新世末澳大利亚与南极大陆之间的塔斯马尼亚海道开启,环南极流开始形成,阻隔了赤道地区向南极的热传输而导致南极地区变冷并在约 37Ma 形成南极冰席,最终到 34Ma 形成南极冰盖。

34Ma 的北美玻璃陨石事件,触发了(E/O)骤冷事件即渐新世冰期早期变冷事件(Oi-1), $\delta^{18}\text{O}$ 整体骤然上升约 1.5‰,反映全球表层温度骤然降低约 4℃,南极冰盖形成(图 1),地球从此由两极无冰状态过渡到单极冰盖状态^[11]。 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 均发生正偏, $\delta^{13}\text{C}$ 增加 0.4‰~0.8‰,最高值达 1.3‰~1.7‰, $\delta^{18}\text{O}$ 增加 3‰,深水降温 7~8℃,整个事件发生迅速而简短,持续时间不超过 20 万年^[5]。Oi-1 骤冷事件使全球表层海水温度明显下降,赤道附近均温仅 20℃±,两极则在 2℃±,对应了约 50m 的平均海平面下降和相当于现在南极冰盖 85%~95% 的冰量已在南极海域出现^[16]。

24Ma 的俄罗斯西伯利亚玻璃陨石事件,使 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 明显波动,结束了持续约 3Ma 的晚渐新世暖期,反映在其后约 1Ma 内经历了一次显著的降温-升温过程,可能触发了其后 23Ma 的变冷事件(Mi-1)(图 1)。赤道太平洋地区底栖有孔虫氧同位素在 23.7Ma 和 22.9Ma 出现了两次正偏和碳同位素轻微正偏,每次持续时间 200~300ka,其壳体钙镁温度计显示底层水温至少下降了 2℃^[16]。Mi-1 变冷事件持续时间约为 400ka,南极冰盖相当于现今冰盖的 120%,并伴随约 50m 的海平面下降^[16]。

15Ma 的捷克玻璃陨石事件, $\delta^{13}\text{C}$ 偏移不明显, $\delta^{18}\text{O}$ 在不到 1Ma 的时间内急剧正偏约 2.0‰,结束了持续约 2Ma 的中中新世气候适宜期,对应了中中新世气候变冷事件,东南极冰盖形成标志南极冰盖永久性形成(图 1)。

6.2Ma 的俄罗斯南乌拉尔玻璃陨石事件, $\delta^{18}\text{O}$ 剧烈波动,在不到 1Ma 的时间内急剧正偏或负偏约 0.5‰,反映了短时间内的降温-升温-降温过程,对应了西南极冰盖形成(图 1)。同期及其后 1Ma (中新世/上新世)全球海平面明显下降,地中海、日

本海干涸,中国沿海渤海-黄海-东海-南海经历了一次广泛的暴露剥蚀夷平。

2.4Ma 的南太平洋陨击事件,在北太平洋也有陨击记录。 $\delta^{18}\text{O}$ 在不到 1Ma 的时间内急剧正偏约 2.0‰,大致对应了 2.588Ma 新近纪/第四纪的降温事件(图 1)。约 8Ma 开始的北极冰盖最终在此时完全形成,地球由单极有冰过渡到两极都发育冰盖,从此地球进入新生代以来的冰室状态,地表气候由幅度变化显著的冰期、间冰期旋回主导^[11]。

1.1Ma 的象牙海岸玻璃陨石事件和 0.73Ma 的澳-亚玻璃陨石事件, $\delta^{18}\text{O}$ 波动明显,大致对应了 0.90~0.92Ma 的中更新世气候周期转型(Mid Pleistocene climatic transition, MPT), MPT 是指全球气候主导周期从早更新世 40ka 转变为中更新世以后的 100ka 周期^[14]。

3 讨论

新生代冰期开始的原因,究竟是南极周围塔斯马尼亚海道和德雷克海峡的开启使得环南极洋流形成,还是喜马拉雅山脉和青藏高原隆升导致大气环流改组^[13]。新生代全球气候变化的触发因素一直是古气候研究的焦点。

全球气候变化的触发因素分地外和地内因素两大类。地外因素主要包括陨击天文事件和地球轨道参数变化;地内因素主要包括 CO_2 浓度降低和全球碳循环变化、海洋及大气系统大量甲烷水合物释放、洋流变化及全球规模的构造运动(如构造隆升、超地幔柱、大规模火山活动)。显然,地内因素不可能是地外因素的触发因素。

由于偏心率最大值与碳同位素最小值周期在气候事件期间不一致应有其它轨道应力机制或碳源作用,因此运用地球轨道参数变化来解释第四纪之前大尺度气候变化还面临诸多挑战^[16]。此外,地球轨道参数变化一般也不会引起全球规模的构造运动及洋流变化。

但足够大的陨击天文事件可以直接触发超地幔柱和大规模火山活动,可以大量(瞬间)释放海洋及大气系统中的甲烷水合物,可以对洋流变化产生影响,最终改变全球碳循环导致 CO_2 浓度降低,触发全球气候变化。新生代 8~11 次陨击天文事件都对应了新生代程度不同的气候变化。

因此,陨击天文事件是全球气候变化最主要的触发因素。

参考文献:

- [1] 王世杰, 欧阳自远, 肖志峰, 李春来. 地外撞击诱发的气候循环和新冰期的形成[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1999, 24(6): 568-572.
- [2] 苏畅. 地层记录的灾害性撞击事件[J]. 地球物理学报, 1999, 42(增刊): 49-56.
- [3] 肖国桥, 张仲石, 姚政权. 始新世-渐新世气候转变研究进展[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 91-105.
- [4] 杜品仁, 马宗晋, 高祥林. 中、新生代全球尺度地质过程及其对自然环境的影响[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 2003, 10(特刊): 38-44.
- [5] 胡修棉, 王成善. 100Ma 以来若干重大地质事件与全球气候变化[J]. 大自然探索, 1999, 18(67): 53-58.
- [6] 赵玉龙, 刘志飞. 古新世-始新世最热事件对地球表层[J]. 地球科学进展, 2007, 22(4): 53-58.
- [7] 傅恒, 房晓璐, 姜绍珍. 日本海陨击事件与新生代东亚大地构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 93-97.
- [8] SCHER D, MARTIN E. Timing and climatic consequences of the opening of Drake Passage[J]. Science, 2006, 312: 428-430.
- [9] 吴水根, 吕文正. 德雷克海峡的扩张历史及其影响[J]. 南极研究, 1988, 1(2): 1-7.
- [10] 欧阳自远, 管云彬. 巨大撞击事件诱发古气候旋回的初步研究[J]. 科学通报, 1992, 1992(9): 829-830.
- [11] 田军. 新生代的气候节律: 赤道太平洋 IODP320、321 航次[J]. 地球科学进展, 2009, 24(12): 1357-1361.
- [12] 周鑫, 郭正堂. 浅析新生代气候变化与大气温室气体浓度的关系[J]. 地学前缘, 2009, 16(5): 15-28.
- [13] 汪品先. 气候演变中的冰和碳[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 85-93.
- [14] 陆钧, 陈木宏. 新生代主要全球气候事件研究进展[J]. 热带海洋学报, 2009, 25(6): 72-79.
- [15] 肖志峰, 欧阳自远, 林文祝. 新生代巨大天体撞击作用的气候效应模拟[J]. 科学通报, 1995, 40(4): 151-153.
- [16] 江湑, 贾建忠, 邓丽君, 万晓樵. 古近纪重大气候事件及其生物响应[J]. 地质科技情报, 2012, 31(3): 31-38.

Meteorite-impact astronomical events and global climatic changes during the Cenezoic

FU Heng, GAO Yan-fei, XIAO Chong-yang

(College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: There were at least eight meteorite-impact astronomical events confirmed during the Cenezoic. However there were still three or more meteorite-impact astronomical events, e. g., 55 Ma Palaeocene - Eocene thermal maximum, 45 Ma Japanese Sea, and 41 Ma Drake Passage meteorite-impact events inferred from the direct evidences of meteorite impact or plate tectonic evolution during this period. All these meteorite-impact astronomical events may be related to the corresponding global climatic changes during the Cenezoic. The triggering factors for the global climatic changes during the Cenezoic include the meteorite-impact astronomical events, variations in the Earth's orbital parameters, decrease of CO₂ concentrations and variations in global carbon cycling, release of plentiful methane hydrates in the oceanic and atmospheric systems, variations in oceanic currents and global-scale tectonic movements (e. g., tectonic uplift, super mantle plume, and wide-spread volcanic activities), of which the meteorite-impact astronomical events are interpreted as the key triggering factors for the global climatic changes during the Cenezoic.

Key words: meteorite-impact astronomical event; global climatic change; Cenezoic