

· 成果简介 ·

峨眉山大火成岩省火山活动与中、晚二叠世之交生物大灭绝

赖旭龙 孙亚东 江海水

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

[关键词] 中-晚二叠世, 峨眉山大火成岩省, 火山活动, 生物大灭绝, 碳同位素

2009年5月29日出版的国际知名刊物 *Science* 报道了一项由英国利兹大学和中国地质大学(武汉)为主合作完成的研究成果^[1], 首次报道了峨眉山玄武岩火山喷发、生物灭绝同时发生, 并紧接着伴随有碳同位素负偏, 提供了目前为止火山活动能导致生物灭绝最直接的证据。这一研究成果极大地提高了人们对大规模火山活动对环境产生的影响的认识。

1 研究的基本背景

由于大规模的火山活动造成巨大体积的岩浆在短时间里喷溢于陆地和海底, 可形成覆盖面积很大的大火成岩省(Large Igneous Provinces-LIPs)。已有研究表明, 地史上不同时期一些重大的生物灭绝事件与大规模火山活动在时间上密切相关^[2], 因此探讨大规模的火山活动与生物大规模的灭绝(mass extinction)已引起国际学术界的高度关注。我国西南四川、贵州和云南三省广泛分布有中-晚二叠世之交喷发的峨眉山玄武岩, 因而成为世界公认的大火成岩省^[3]。峨眉山玄武岩的喷发是发生于中-晚二叠世之交的一个重大地质事件, 可能引发了重大的气候和环境变化, 其形成又可能与地幔柱相关, 近年来峨眉山大火成岩省引起了广泛关注并已成为国际研究热点。

中二叠世瓜德卢普期末(end-Gudalupian)生物大规模灭绝事件也被许多学者所报道^[4-6]。本世纪以来探讨峨眉山大火成岩省与中二叠世瓜德卢普期末生物大规模灭绝事件之间的联系和成因机制已成为学术界的一个新的热点^[2, 7, 8]。然而, 峨眉山玄武岩喷发与生物大灭绝的联系尚存在一些研究薄弱

点: 峨眉山玄武岩的绝对年龄虽有较好的确立, 但其误差仍然较大; 大规模的火山喷发可导致生物灭绝的学说也因缺少直接证据而受到争议, 其中包括有学者认为峨眉山玄武岩喷发所释放的 CO₂ 虽然多, 但不足以引起导致全球生物灭绝的环境变化^[9]; 传统认为的以溢流为主的喷发模式似乎不会引起大的环境变化; 火山作用导致生物灭绝成因机制也不清楚, 长期难以解决。

2 研究的进展和突破

为解决峨眉山大规模火山喷发与生物灭绝的成因联系问题, 自2005年起, 一个由英国利兹大学、中国地质大学(武汉)、香港大学、英国开放大学、中国科学院南京地质古生物所、英国伯明翰大学等单位研究人员组成的国际合作小组, 在中国国家自然科学基金委员会、中国国家外国专家局、英国自然环境研究委员会(NERC)和香港研究资助委员会(HKRCG)的资助下开始了长期合作研究, 并在以下三个方面实现了突破: (1) 建立峨眉山火山喷发高分辨率的相对年龄序列, 以便进行准确的地层划分和进行大规模的区域对比; (2) 寻找到火山喷发和生物灭绝同时发生的直接证据; (3) 证实火山活动对全球性的碳同位素循环有较大影响。

2.1 峨眉山玄武岩喷发相对年龄的突破

海相微体化石牙形石是二叠系地层划分的重要标准化石, 中国南方中-晚二叠世高精度的牙形石序列已经确立^[10, 11]。因此在含玄武岩剖面中的灰岩中提取牙形石对于建立高分辨率的火山喷发年龄显得至关重要。我国西南地区峨眉山玄武岩一般覆盖在中二叠世茅口组海相碳酸盐岩沉积之上, 在贵州

本文于2009年6月20日收到。

和四川有一些剖面二者是整合接触。在某些剖面如贵州织金熊家场剖面上玄武岩喷发的间歇期也保存了相应的茅口组含生物化石的海相灰岩夹层,这在世界上是独一无二的,也为研究火山活动和海相生物灭绝的关系提供了绝佳的研究材料。

本研究组对四川、贵州、云南及广西 20 多条剖面进行了大量的牙形石生物地层工作,并在其中的 19 条取得了牙形石材料并建立了牙形石化石带。这些剖面既包括峨眉山玄武岩分布区的,也包括玄武岩周边地区的,涉及到不同的沉积相类型,所划分的牙形石带为区域地层对比提供了精确的时间尺度。研究表明:川北地区由于受海退的影响中二叠世碳酸盐岩地层结束沉积较早,发生在 *Jinogondolella postserrata*-*J. shannoni* 牙形石带之上,其上覆盖晚二叠世吴家坪组;而川南峨眉山玄武岩分布地区,茅口组碳酸盐岩沉积一直到 *J. xuanhanensis* 牙形石带,之后为上覆峨眉山玄武岩^[12]。根据 Wignall 等^[1]的研究,峨眉山玄武岩喷发时间在整个川南地区和黔西地区是有规律的:在贵州织金的熊家场剖面峨眉山玄武岩与茅口组灰岩呈互层状,从第一个峨眉山玄武岩层下伏的茅口组中获得了 *J. altudaensis* 分子,同时在该剖面上玄武岩层所夹的约 14 m 厚的同沉积灰岩夹层中获得了 *J. prexuanhanensis* 和 *J. xuanhanensis* 牙形石分子。这一结果为我们提供了目前为止最可靠的玄武岩喷发的相对年龄数据,表明峨眉山玄武岩的首次喷发可能发生在中二叠 Capitanian 阶中晚期的 *J. altudaensis* 带,然后持续喷发经 *J. xuanhanensis* 带延续到中-晚二叠世之交。在黔西地区,玄武岩活动发生的相对较早,如六盘水地区的坪地和织金地区,玄武岩直接接触的茅口组顶部取得的牙形石为 *J. altudaensis* 带,在这个时间段,上扬子地区很多剖面中发育火山灰成因的沉积物 (Intertrappean sediments)^[1];而到了 *J. xuanhanensis* 带是整个峨眉山大火成岩省火山活动最为猛烈的时候,多数工作剖面的峨眉山玄武岩都是覆盖在 *J. xuanhanensis* 牙形石带之上。

2.2 火山喷发和生物灭绝的关系研究

关于中、晚二叠世之交瓜德卢普阶-乐平阶界线 (Guadalupian-Lopingian Boundary-GLB) 附近的生物灭绝界线目前尚无统一认识, Jin 等^[6]认为发生在牙形石 *Jinogondolella* 向 *Clarkina* 转换处; Kaiho 等^[13]认为大灭绝发生在来宾灰岩之上,吴家坪阶底部 *C. dukouensis* 带上下。在这次灭绝事件中,蛭

类、有孔虫和钙藻等门类受到重大打击^[4]。Lai 等^[12]报道了在四川北部多个剖面上的 GLB 生物灭绝表现为蛭类的大量灭绝和钙藻的面貌转换。Wignall 等^[1]在贵州和川西南的进一步工作发现峨眉山玄武岩的喷发时间与通过微相分析得出的蛭、非蛭有孔虫以及钙藻的灭绝线是一致的,而且根据牙形石化石带判断该灭绝线早于前人认为的 GLB 界线上下:在贵州熊家场剖面蛭类有孔虫和钙藻的灭绝发生在 *J. altudaensis* 带上下,直接下伏在 70 m 厚的火山碎屑岩-玄武岩层序之下,在玄武岩的灰岩夹层中钙藻大量消失并伴随着碳同位素的较大负偏,这证明了生物灭绝和火山活动的直接联系^[1]。在峨眉山大火成岩省外的贵州紫云地区,蛭类、有孔虫和钙藻的观察得到同样灭绝模式:钙藻生物种群一级的组成完全发生了改变;有孔虫中发育蜂窝层的希瓦格蛭科 (Schwagerinidae) 和新希瓦格蛭科 (Neoschwagerinidae) 发生了灭绝,它们被 *Codonofusiella* 和 *Reichelina* 等蛭类所替代^[1],这些现象证明了这一灭绝事件具有区域性。

2.3 碳同位素的研究

大规模的火山活动可以释放大量的二氧化碳,这是导致环境变化的一个重要诱因^[2]。我国峨眉山玄武岩的喷发为猛烈的火山碎屑-蒸汽岩浆式喷发而非其他地区陆相的宁静溢流式^[1, 14],这使它的影响巨大。

在黔西和川南发现了大量的火山碎屑岩,这种火山碎屑岩的广泛分布说明峨眉山玄武岩喷发的早期是极其猛烈的,这是之前的研究没有意识到的。而喷发模式的不同可以导致完全不同的环境影响,其对碳同位素的影响就是一个重要的方面。在川北广元朝天剖面碳同位素的负偏达到 -8% ^[12];在贵州熊家场剖面碳同位素负偏达到了 -5% — -6% ,而贵州紫云狗场的负偏也达到 -8% ,且所观测到的碳同位素的大幅度负偏稍晚于生物灭绝^[1]。这些波动均大于前人所报道的峨眉山大火成岩省以外 GLB 界线处的碳同位素负偏,如:广西来宾地区为 -2% — -3% ^[15];日本 Kamura 地区为 -4% ^[16]。由于在相距 1000 km 以上的不同地区和不同沉积环境中均可观测到这一现象,这也说明在中二叠世末的碳同位素的波动是一全球性的信号,同时也预示峨眉山大火成岩省玄武岩喷发扰乱了海洋-大气圈的碳循环,本研究认为这可能与火山成因的热源轻碳的输入有关。

3 研究展望

本研究通过大量的证据证明峨眉山大火成岩省大规模火山喷发与中-晚二叠世之交的生物大灭绝有因果联系,从而极大的拓展了目前我们对大规模的火山活动和生物大灭绝之间的联系的认识,为日后进一步研究岩石圈-生物圈-大气圈协同演化拓宽了思路。

二叠纪末的生物大规模灭绝是地质历史时期最大的一次灭绝事件,一直是国际地质和古生物学家长期探索的前沿和热点问题,其灭绝原因及模式被学术界热烈讨论^[17, 18]。殷鸿福等^[19]根据从二叠-三叠系界线粘土岩中发现的火山玻璃和高温石英等火山物质,认为华南地区二叠-三叠系界线(Permian-Triassic Boundary-PTB)的生物灭绝与中酸性火山岩的喷发有关。目前越来越多的研究表明西伯利亚大火成岩省的火山喷发与PTB的生物大灭绝几乎同时发生^[20, 21]。西伯利亚大火成岩省的出露面积是峨眉山大火成岩省面积的数倍,其对生物造成的灭绝效应是巨大的。因此加强PTB大规模火山作用与生物大灭绝之间的关系研究将是一个热点研究领域。

尽管本研究揭示了大规模火山活动与生物大灭绝的因果联系以及其对碳同位素的影响,但火山活动造成生物灭绝的机制和过程还值得进一步深入研究。此外,迄今为止大规模的火山活动对全球环境的影响尚无法进一步量化,而采用对牙形石磷灰石的氧同位素的研究可以重建古海水温度的变化,从而揭示火山活动对古气候的影响效应,因此加强对GLB和PTB处的古海水温度重建可用以来定量评估大规模火山作用对环境的影响。可以预见,随着研究的更加深入,我们会更深刻地认识火山活动对环境 and 生物的影响,并为评估潜在的火山灾害提供宝贵的资料。

参 考 文 献

- [1] Wignall P B, Sun Y, Bond D P G et al. Volcanism, Mass Extinction, and Carbon Isotope Fluctuations in the Middle Permian of China. *Science*, 2009, 324: 1179—1182.
- [2] Wignall P B. Large igneous provinces and mass extinctions. *Earth-Science Reviews*, 2001, 53(1—2): 1—33.
- [3] Ali J R, Thompson G M, Zhou M F et al. Emeishan large igneous province, SW China. *Lithos*, 2005, 79 (3—4): 475—489.
- [4] Stanley S M, Yang X. A double mass extinction at the end of the Paleozoic Era. *Science*, 1994, 266 (5189): 1340—1344.

- [5] Retallack G J, Metzger C A, Greaver T et al. Middle-Late Permian mass extinction on land. *Geological Society of America Bulletin*, 2006, 118(11—12): 1398—1411.
- [6] Jin Y, Shen S Z, Henderson C M et al. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the boundary between the Capitanian and Wuchiapingian Stage (Permian). *Episodes*, 2006, 29(4): 253—262.
- [7] Retallack G J, Jahren H A. Methane release from igneous intrusion of coal during Late Permian extinction events. *Journal of Geology*, 2008, 116(1): 1—20.
- [8] Ganino C, Arndt N T. Climate changes caused by degassing of sediments during the emplacement of large igneous provinces. *Geology*, 2009, 37(4): 323—326.
- [9] Isozaki Y. Illawarra Reversal; The fingerprint of a superplume that triggered Pangean breakup and the end-Guadalupian (Permian) mass extinction. *Gondwana Research*, 2009, 15(3—4): 421—432.
- [10] Mei S, Jin Y G, Wardlaw B R. Zonation of conodonts from the Maokouan-Wuchiapingian boundary strata, South China. *Palaeoworld*, 1994, 4: 225—233.
- [11] Mei S L, Jin Y G, Wardlaw B R. Conodont Succession of the Guadalupian-Lopingian Boundary Strata in Laibin of Guangxi, China and West Texas, USA. *Palaeoworld*, 1998, 9: 53—76.
- [12] Lai X, Wang W, Wignall P B et al. Palaeoenvironmental change during the end-Guadalupian (Permian) mass extinction in Sichuan, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, 269(1—2): 78—93.
- [13] Kaiho K, Chen Z Q, Ohashi T et al. A negative carbon isotope anomaly associated with the earliest Lopingian (Late Permian) mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2005, 223(1—2): 172—180.
- [14] Uksins Peate I, Bryan S E. Re-evaluating plume-induced uplift in the Emeishan large igneous province. *Nature Geoscience*, 2008, 1(9): 625—629.
- [15] Wang W, Cao C Q, Wang Y. The carbon isotope excursion on GSSP candidate section of Lopingian-Guadalupian boundary. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 220(1—2): 57—67.
- [16] Isozaki Y, Kawahata H, Ota A. A unique carbon isotope record across the Guadalupian-Lopingian (Middle-Upper Permian) boundary in mid-oceanic paleo-atoll carbonates: The high-productivity “Kamura event” and its collapse in Panthalassa. *Global and Planetary Change*, 2007, 55 (1—3): 21—38.
- [17] Yin H F, Feng Q L, Lai X L et al. The protracted Permian-Triassic crisis and multi-episode extinction around the Permian-Triassic boundary. *Global and Planetary Change*, 2007, 55(1—3): 1—20.
- [18] Jin Y, Wang Y, Wang W et al. Pattern of marine mass extinction near the Permian-Triassic boundary in South China. *Science*, 2000, 289(5478): 432—436.
- [19] 殷鸿福, 黄思骥, 张克信等. 华南二叠纪-三叠纪之交的火山活动及其对生物灭绝的影响. *地质学报*, 1989, 2: 169—181.
- [20] Renne P R, Zhang Z, Richards M A et al. Synchrony and causal relations between Permian-Triassic boundary crises and Siberian flood volcanism. *Science*, 1995, 269 (5229): 1413—1416.
- [21] Reichow M K, Pringle M S, Al'Mukhamedov A I et al. The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: Implications for the end-Permian environmental crisis. *Earth and Planetary Science Letters*, 2009, 277(1—2): 9—20.

THE RELATIONSHIP BETWEEN VOLCANISM OF EMEISHAN LARGE IGNEOUS PROVINCE AND MASS EXTINCTION DURING MIDDLE-LATE PERMIAN TRANSITION

Lai Xulong Sun Yadong Jiang Haishui

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Key words Middle-Late Permian, Emeishan LIP, volcanism, mass extinction, carbon isotope

· 资料 · 信息 ·

第 42 期双清论坛“行为运作管理”召开

国家自然科学基金委员会第 42 期双清论坛于 2009 年 8 月 22—23 日在合肥召开。本次论坛的主题为“行为运作管理”。30 余家单位的 60 多位专家学者出席会议。

本次论坛安排了 7 场主题学术报告, 20 多位学者作了自由报告。与会专家学者主要就行为运作管理理论基础与研究方法、行为决策、基于行为的供应链管理、复杂系统行为运作管理等 4 个方面展开讨论。

与会专家一致认为, 开展行为运作管理研讨意义重大。行为科学与经济学、金融学、营销学和信息系统已经成功地进行了交叉与融合, 并取得了重要成果。作为行为科学与管理科学的交叉学科, 行为运作管理在近年来受到了人们的广泛关注, 行为因素被认为可能将成为下一个管理科学领域“范式变迁”之本。行为运作管理发展的目的是希望改变因为传统运作管理将人的行为作过于理想化的假定, 以致导致有关理论难以预测和解释现实运作系统表现的现状, 通过对人的现实理性和现实行为特征的认识心理学和实证研究, 开展运作系统的设计、运营和改善方法研究。行为运作管理目前仍处于初级发展阶段, 但预期在制造业、服务业、公共服务和政策制定领域有着广泛的应用前景。

与会专家围绕会议主题进行了热烈讨论, 认为未来 5 年乃至更长时间内我国“行为运作管理”领域应当重视以下科学问题的研究。

(1) 行为运作管理的基础理论与研究方法:
(i) 运作系统中的行为研究: 行为特征的认识、刻画与建模、群体行为的度量与参数化、行为在不同文化背景下的差异性、行为的心理和生理基础;
(ii) 行为运作管理的若干基础性问题: 基于行为的运营战略问题、行为运作管理理论的实证研究、有限理性决策

的发展研究、基于行为的系统改进设计研究、行为运作管理与其他学科的交叉研究。

(2) 行为决策: (i) 行为决策理论和方法: 我国情景下的行为决策理论、群体决策行为与博弈、有限理性决策与理性决策的结合、行为决策的实证研究;
(ii) 行为评价: 基于行为的评价理论、方法和应用研究、考虑行为的评价机制设计。

(3) 基于行为的供应链管理与服务系统运作管理: (i) 基于行为的供应链管理: 基于行为的供应链设计、基于行为的供应链协调与优化、基于行为的定价策略、基于行为的库存管理、基于行为的供应链风险管理;
(ii) 基于行为的服务系统设计优化: 考虑行为影响的柔性服务系统设计、基于行为的服务系统运作管理、基于行为的服务质量管理;
(iii) 基于行为的创新网络管理: 有效创新的网络结构与组织行为、基于行为的产品开发与技术创新网络协调与优化、供应链网络的创新激励行为与知识共享机制。

(4) 复杂系统行为运作管理: (i) 复杂系统行为运作管理理论和方法研究: 复杂系统中群体行为的生成机理与管理研究、复杂系统行为控制理论研究、复杂系统的行为博弈与行为决策方法研究、复杂系统的行为仿真;
(ii) 城市交通运输系统中的行为研究: 交通行为诱导与演化、个人行为与交通系统的交互、应急交通行为研究;
(iii) 社会经济大系统中的行为研究: 大型工程项目管理中的行为研究、突发事件应急管理中的行为研究、能源与电力系统中的行为研究;
(iv) 考虑行为的信息管理与风险管理: 信息网络的行管理、基于行为的人—机交互与信息管理、考虑行为的复杂系统风险管理。

(管理科学部 刘作仪 供稿)