

## 地质地球所揭示晚泥盆世弗拉斯—法门转折期海洋演化过程

文章来源：地质与地球物理研究所

发布时间：2013-07-03

【字号：小 中 大】

晚泥盆世弗拉斯阶—法门阶（Frasnian-Famennian，简称F-F）生物灭绝事件，是显生宙五次全球性生物灭绝事件之一。对于造成此次重大生物危机的原因还存在许多争论。

在缺氧的分层水体中，硫酸盐经过细菌硫酸盐还原作用（BSR）转化为硫化氢（ $H_2S$ ），并以金属硫化物（主要为 $FeS_2$ ）的形式沉淀下来。在这一过程中，质量较轻的 $^{32}S$ 化学活性较强，更易通过BSR作用富集到硫化氢中，从而产生硫同位素的分馏，使硫化物富集同位素 $^{32}S$ ，而海水硫酸盐则相对富集 $^{34}S$ 。因此，海水硫酸盐和沉积物硫化物之间的同位素差异（ $\Delta^{34}S$ ）可以很好地反映BSR作用强弱，并进一步指示海洋循环状况和大气氧的变化。大量的研究表明，碳酸盐岩结构微量硫酸盐（CAS）的 $\delta^{34}S$ 可以反映同时代的海水硫酸盐的硫同位素组成，为进行高分辨率、连续的硫同位素地层研究提供了可能。

为了更好地了解晚泥盆世F-F转折期的古海洋演化，中科院地质与地球物理研究所油气资源研究室的陈代钊研究员及其合作者分别以位于古特提斯洋东部和西部的中国南方付合剖面 and 波兰圣十字山Kowala剖面的F-F界线剖面为研究对象，进行了高分辨率的碳酸盐岩CAS和黄铁矿硫同位素研究（ $\delta^{34}S_{CAS}$ 和 $\delta^{34}S_{PY}$ ）。研究表明：F-F转折期的海洋演化可以分为两个阶段。以付合剖面为例（图1），阶段一：为晚弗拉斯期的海平面下降阶段，以钙质浊积岩与风暴岩沉积为主。在该段底部， $\delta^{34}S_{CAS}$ 和 $\Delta^{34}S$ 呈现明显的正漂，向上逐渐回落至基准值， $\Delta^{34}S$ 表现得尤为明显；阶段二：为早法门期的海平面上升阶段，以瘤状灰岩沉积为主。 $\delta^{34}S_{CAS}$ 和 $\delta^{34}S_{PY}$ 同时出现负漂，并持续至该阶段结束，期间 $\Delta^{34}S$ 保持低值；紧接着， $\delta^{34}S_{CAS}$ 和 $\delta^{34}S_{PY}$ 出现快速的正漂，但 $\delta^{34}S_{CAS}$ 增幅相对较小，并向上降低，从而导致 $\Delta^{34}S$ 明显降低，甚至变为负值。Kowala剖面的 $\delta^{34}S_{CAS}$ 、 $\delta^{34}S_{PY}$ 和 $\Delta^{34}S$ 的演化趋势基本与付合剖面相一致（图2）。两个剖面的数据均表明在F-F转折期存在着 $\delta^{34}S_{CAS}$ 和 $\delta^{34}S_{PY}$ 的大幅波动。

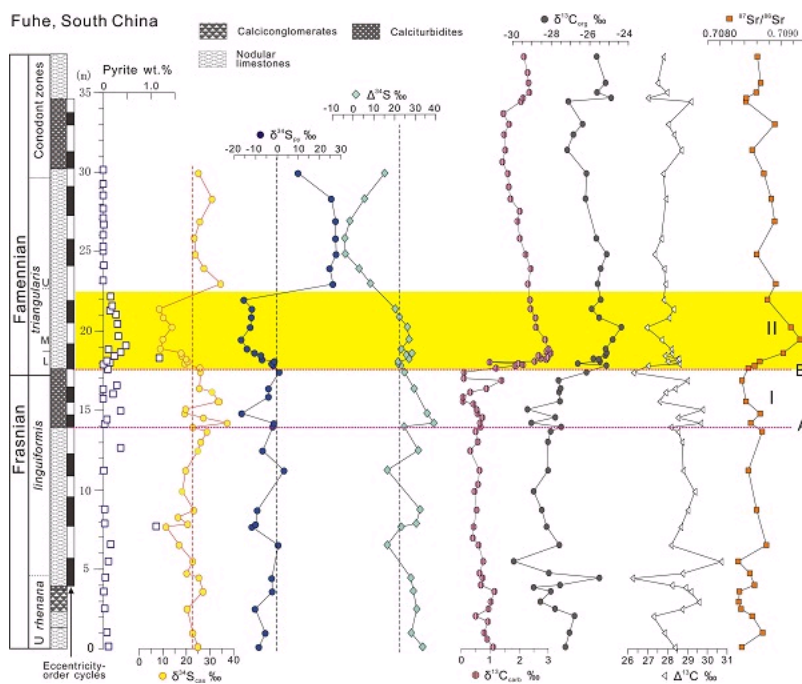


图1 付合剖面的 $\delta^{34}S_{CAS}$ 、 $\delta^{34}S_{PY}$ 、 $\Delta^{34}S$ 与 $\delta^{13}C_{carb}$ 、 $\delta^{13}C_{org}$ 与Sr同位素系统变化

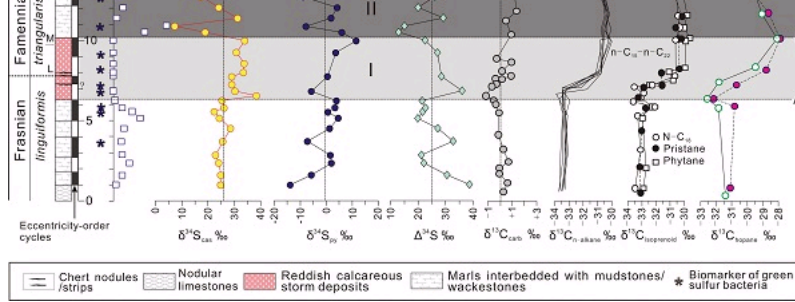


图2 波兰Kowala剖面的  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CAS}}$ 、 $\delta^{34}\text{S}_{\text{PY}}$ 、 $\Delta^{34}\text{S}$ 与  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ORG}}$  等系统变化

在新的生物地层资料基础之上，结合早期同剖面样品的有机碳同位素、无机碳同位素和Sr同位素研究成果，研究人员认为，在弗拉斯阶末裂谷内断块掀斜引起海平面的快速下降会强化浊流（陡坡）或风暴流（缓坡）作用，导致海洋底水的翻转（图3），使得底层缺氧、富 $^{34}\text{S}$ 、硫酸盐亏损的海水上升到海洋表面，底水得到更新（补充），从而导致该阶段沉积物中  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CAS}}$ 和  $\Delta^{34}\text{S}$ 具有相似的变化趋势。在海平面快速上升的早法朗期，温暖潮湿的气候使陆源营养物质的输入增加，从而导致初级生产力和有机质埋藏的速率增加，强化了BSR作用，同时产生大量 $\text{H}_2\text{S}$ 气体。当海水中的Fe被消耗殆尽，过量的 $\text{H}_2\text{S}$ 就会扩散到表层海水中，造成透光带海水的硫化。在透光带海水中，轻硫同位素（ $^{32}\text{S}$ ）富集的 $\text{H}_2\text{S}$ 被直接氧化成硫酸根离子，同时风化作用的增强也会造成沉积物中硫化物的氧化，增加了轻硫同位素硫酸盐的输入，从而导致  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CAS}}$ 和  $\delta^{34}\text{S}_{\text{PY}}$ 同时负漂并出现低的  $\Delta^{34}\text{S}$ 值。在晚 *triangularis*，冈瓦纳冰期开始，气候骤然变冷和/或大规模的海平面下降，改善了海水循环，海水逐渐氧化，使得盆地缺氧、贫硫酸盐的底水大幅收缩，导致底水中  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CAS}}$ 和  $\delta^{34}\text{S}_{\text{PY}}$ 出现快速的正漂。但底水的完全氧化使得BSR仅在表层沉积物中进行，产生的相对重硫化氢被快速氧化，从而导致  $\Delta^{34}\text{S}$ 值逐渐减小，甚至出现负值。

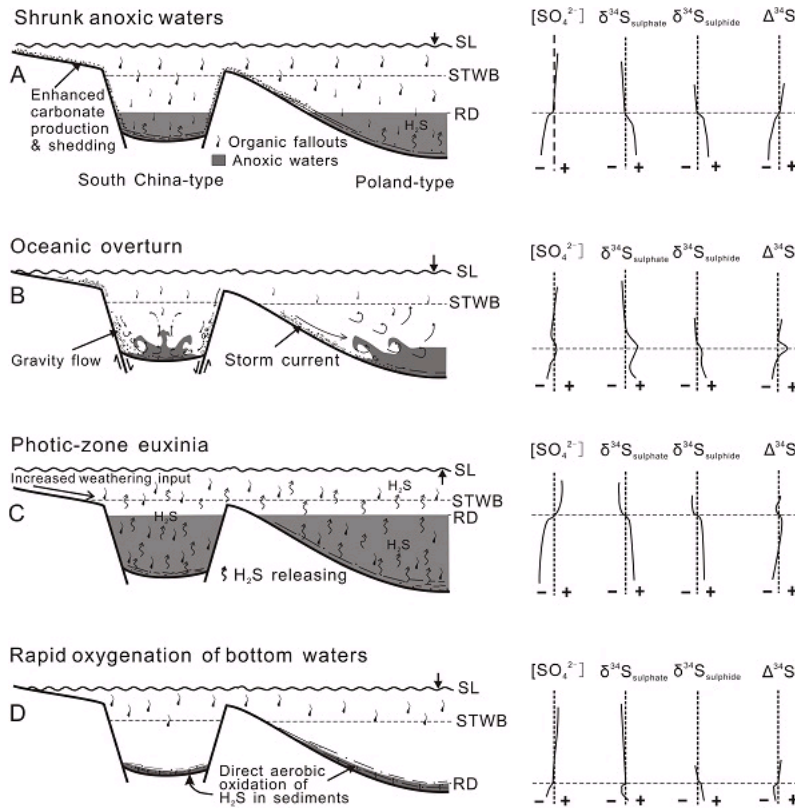


图3 F-F转折期幕式海洋演化与硫循环的概念模型

F-F转折期的两幕生物灭绝事件在时间与海洋底水翻转和随后的透光带缺氧事件相吻合，表明这些极端的海洋事件在生物灭绝中扮演了重要角色。此外，透光带的缺氧事件和紧跟其后的气候骤然变冷也可能在一定程度上延缓了灭绝事件之后某些生物种群的复苏。

该研究成果近期发表在国际地学刊物 *Journal of the Geological Society* 上 (Chen et al. *Large sulphur isotopic perturbations and oceanic changes during the Frasnian-Famennian transition of the Late Devonian. Journal of the Geological Society*, 2013, 170: 465-476)。

[原文链接](#)

