

奥陶系/志留系之交的地球化学异常（改稿 2）

远安苟家垭奥陶系/志留系界线剖面出露良好，无变质作用和构造运动的影响，其笔石带与宜昌王家湾奥陶系/志留系界线剖面的笔石带可以很好地进行对比，是近几年发现的一条较好的奥陶系/志留系界线剖面。宜昌地质矿产研究所承担的中国地质调查局项目“中国震旦系及显生宙年代地层单位的划分及其时限研究”以其为重点，对奥陶系/志留系界线附近相关剖面地层的地球化学异常及其所反映的地球环境变化进行了研究，有了下述新的认识。

^{13}C 的地球化学：宜昌王家湾、黄花场和分乡等三条重要奥陶系/志留系界线剖面的黑色页岩形成于滞留的还原环境，在成岩过程中有机碳的损失相对较少。 ^{13}C 变化曲线总的演变趋势大致是相同的(图 1)，从 *D. mirus* 亚带上部开始，向正异常方向漂移，至观音桥层王家湾剖面 and 黄花场的达到最大值，在 *persculptus* 带之底上述两剖面的有机碳 ^{13}C 发生了明显负异常跃变；苟家垭剖面有机碳 ^{13}C 的最大值位于 *persculptus* 带之底，随后开始向负异常方向漂移。

^{13}C 演变曲线与 *Manosia* 动物群的兴起及 *Hirnantia-Kinnella* 动物群的繁盛相吻合，与笔石动物群的衰落及绝灭相一致，给当时生物总量的变化及生物绝灭与复苏事件的存在提供了又一佐证；另外， ^{13}C 持续上升为冈瓦那冰川的凝聚期，当， ^{13}C 向负异常方向跃变时，二者具有很好的对应关系。

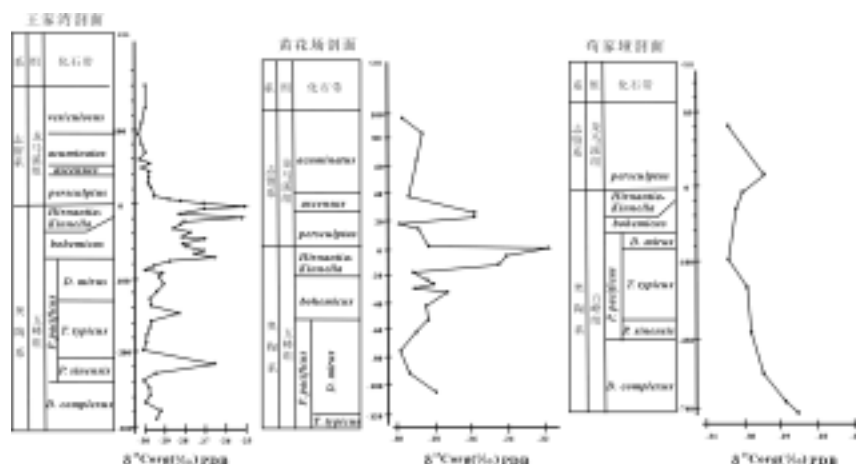


图 1 奥陶系—志留系界线附近地层 ^{13}C 异常变化曲线

^{13}C 的变化反映了海洋生物量及海平面的变化。王家湾剖面内， ^{13}C 在 *P. sinensis* 亚带和 *N. ojsuensis*-*N. extraordinarius* 带——*Hirnantia-Kinnella* 带各有一个显著的峰值，指示发生了两次较大规模的海退。同样，五峰组可以划分出两个海平面升降变化旋回，时限上应该和三级海平面变化相对应，即五峰组可以划分为两个三级层序，下部的三级层序，其海侵域大致相当于 *complexus* 带，至 *P. sinensis* 亚带，则为高位域沉积；上部的三级层序，其海侵域大致与 *T. typicus* 亚带对应，而其上的 *D. mirus* 亚带和 *N. extraordinarius*-*N. ojsuensis* 带连同 *Hirnantia-Kinnella* 带则相当于高位域的沉积。

总体上， ^{13}C 的值变化于-28.50‰—30.56‰之间，形成环境为局限浅水（<250 米）的陆缘海盆，盆地上部海水具有明显的分层现象。

稀土元素的分布型式与海洋环境 稀土元素的分布型式客观反映当时的海洋环境，苟家垭剖面中稀土元素的分布型式有三种，1、上凸型样品的共同特点是铈弱亏损或呈现不明显的正异常，Eu 为正异常，反映了热水活动的特征，与王家湾、分乡和黄花场剖面的观音桥层所发现的代表火山活动较为发育的层凝灰岩相印证，五峰组部分样品为土黄色的粘土岩，其成因可能和海底火山活动有关，暗示该组沉积初期可能有海底扩张构造运动存在，为该期相对海平面上升提供了又一证据。2、右斜型表现了轻稀土元素富集和重稀土亏损的特征，反映了沉积时水体较浅，或成岩物质的来源与浅水台地有关，对于宜昌地区而言，当时的沉积环境可能二者兼而有之。3、平坦型或弱右斜型，其沉积环境和上述右斜型类似，但陆源物质的影响较弱，反映了一个相对稳定的沉积环境，这种环境对生物群的繁衍具有重要

的作用。

纵向上,各笔石带典型的稀土元素分布型式也有一定的规律。complexus 带以底部的上凸型和中上部的右斜型为主,pacificus 带以弱右斜、右斜型为主;ojsuensis-extraordinarius 带则呈现大致平坦的分布型式,Hirnantia-Kinnella 带又呈现上凸型;persculptus 带则以平坦、弱右斜型为主。

新滩剖面大部分样品显示出铈的负异常(0.81-0.90)和铕的正异常(1.17-1.73)。轻稀土元素(LREE)较重稀土元素(HREE)富集,呈弱右斜型;可以推测该区热水活动发育。

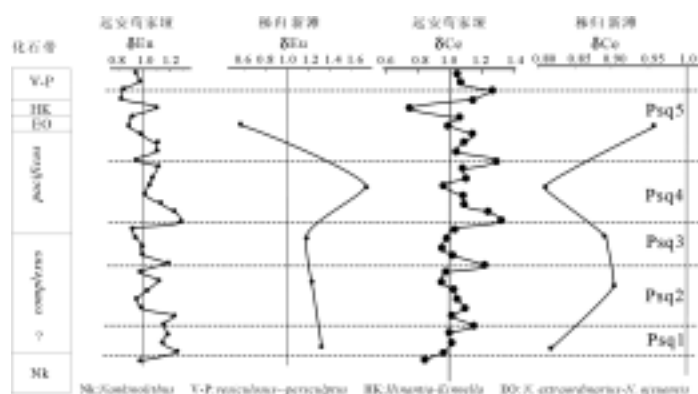


图2 秭归新滩和远安苟家垭 O/S 界线剖面 Ce、Eu 异常的对比

Ce 异常与海平面的变化 图4中显示出苟家垭剖面多数样品 Ce(

$Ce = CeN / [(La + Pr)N / 2]$) 为正异常;La/Ce 的比值近似等于1,代表有陆源物质的加入;说明 Ce 正异常与由淡水携带富 Ce 陆源物质有关。

Ce 曲线在五峰组和龙马溪组底部的变化特征显示出5次海退/海侵旋回,但最大规模的海退处于

Hirnantia-Kinnella 带。五次

海平面升降旋回的总时限大致和5—6个笔石带相当,可以确定为四级海平面升降旋回。由于热水活动的影响,五峰组最底部 Ce、Eu 的变化均不明显,从临湘组的 SG0-4a 至五峰组底部的 SG0-1b 似呈现出海退的假象,事实上,从临湘组顶部的海退到五峰组底部的海侵,既是岩性的转换面,又是层序的界面,其间缺失了 complanatus 带或其底部发育不全,应为型层序界面。

新滩剖面铈异常所指示的海平面的升降变化显示在 pacificus 带上部与 D. mirus 亚带大致相当的位置开始出现海退(图4),和峡东区其它剖面一致。

两个剖面的 Eu 和 Ce 的变化规律可以大致对应,但变化趋势相反, Eu 达到最大值的时候, Ce 往往为最小值。这一现象表明,由冰川作用驱动的海平面变化对海水氧化还原电位有直接的影响。

微量元素地球化学异常 苟家垭剖面在 persculptus 带之底,除 Sc 的异常不明显外,其它几种元素均表现出明显的地球化学异常,Sr/Ba 比值的变化曲线也有类似的现象,暗示这一时期地球环境的巨大变革。Th/U 的比值呈现逐步下降的趋势,可能代表了淡水对扬子海的影响逐渐减弱。Ba 的变化曲线比较特别,在五峰组的底部样品有一个显著的异常值,可能和粘土的吸附作用有关;其它样品的 Ba 变化曲线比较平坦,但明显高于海水中 Ba 的平均含量(20ppb),可能与有机质有成因上的联系。由于热水活动的影响和细碎屑物质的吸附作用导致 Ba 含量的大幅升高,使 Sr/Ba 比值远小于1,显然在晚奥陶世钱塘江期,上扬子海受淡水的影响较大。观音桥层 Sr/Ba 比值有一个非常显著的峰值,显示在该时期海洋环境的巨大变革。V/Ni 比值的变化曲线反映了水体深度在钱塘江阶初期变化不大,后期变化比较剧烈,特别是在观音桥层 V/Ni 比值向负值方向产生跃变,表明该时期有一次水体深度的大幅度的降低事件。

综合上述研究,persculptus 带的底部处于 ^{13}C 出现较大异常的地方,稀土元素的分布型式、

Ce 等的变化曲线无不反映环境的巨大变化:生物界在经历了奥陶系末的集群绝灭之后、残存——复苏期的来临,并与全球奥陶系—志留系间的地质事件(冈瓦那冰川事件、生物演

化事件等)相吻合。该界面附近,Rb、Sr、Sc、V、Ni 等元素的地球化学异常,也为在该界面上下地球环境的巨大变化和由此而带来的生物演化的点断和飞跃提供了佐证。可见它作为一个良好的事件界面,对奥陶系—志留系界线生物标志的选择和界线的最终确定具有重要的参考价值,并可作为野外识别的良好标志;也表明地球化学异常可以作为界线的划分良好辅助标志。上述研究有利于客观地评估全球奥陶系/志留系界线层型剖面点(GSSP)的科学价值及其实践意义,从而将有助于奥陶系/志留系界线的最终确定。