

显生宙重大地质和生物事件及其周期性

C. Г. 聂鲁乔夫

(全俄石油地质勘探科学研究所 俄罗斯圣彼得堡 191104)

摘 要 显生宙共发生了17次重大地质和生物事件。这些事件的特征是玄武岩的强烈喷发,铀矿的大量形成、海相含铀放射性黑色页岩的聚积和高强放射性环境以及由此造成的生物群的大量灭绝和新种属的出现。最大的三次事件(V—Є, D—C, J—K)分别经过2.16~2.17亿年出现并与第I、II、III银河年分别对应。在每一银河年内平均约隔30Ma发生一次类似事件。这类事件的周期系统由3个大周期(3个银河年)和17个系列事件组成。

关键词 银河年 动物群大量灭绝 含铀页岩

1 前 言

1.1 地史上重大地质生物事件的主要诱因:放射性环境

我在自己1974~1982年的著作里曾论述过裂谷作用中较短地史期间周期性出现的玄武岩火山的大量喷发,富含有机质的和化学元素U、P、S、Fe、Mo、V、Ni、Cu、Zn、Cr、Co、Ag、Au、As以及含稀土元素La、Ce、Pr、Nd、Sm、Yb丰度异常高的放射性海洋浮游生物的沉积物大量聚积。1982年之后,在上述元素中还增加了铂族元素Ir和Os。

在所述地史时期,含有沉积铀矿工业聚集的放射性沉积物也常常大量形成于陆上河流相、冲积相和湖相沉积中。

由于浮游生物主要是兰门藻在原先各种海藻几乎全部消失之后突然间在全球繁荣茂盛,在世界各地大范围海洋空间,便出现了有机质丰度的高异常(达10%~25%或更高)。

根据大量生物学资料,而不是仅仅根据时而出现的无氧(硫化氢)海域方面的资料,此期间在海洋和陆地出现了十分严重的生物危机,其特征是当时存活的动、植物群的大量灭绝和新种属的快速出现和繁衍。

同步于放射性沉积物的大量聚积和工业铀矿的大量形成,是全球性诱变作用加快。我们对此的解释是:最强大的和最显著的诱因是环境的放射性高异常。

从来也没有什么人从不从“健康理念”来论证地球历史上生存环境中稳定低的“正常”放射性问题。与此相反的是,关于地史上因放射性含铀沉积物的聚积造成短期高放射性环境则有完全充足的证据。

许多学者对已查明的有机质丰度与沉积岩中铀丰度之间的直接相关性并不持怀疑态度,这是因为铀(还有其它重金属)是与浮游生物有机质一起在沉积物中聚积的。

我们总结的放射生物学家取自自然的和实验的放射学资料表明,铀的活体生物化学聚积体主要是浮游生物。浮游生物从水中进行生物化学铀聚积的系数大约为600~800,而且

尽管铀丰度在水中变化的范围很大,但这一系数则保持稳定。

因此,当铀在水中的溶解度升高 4 个量级(从常值 $10^{-7}\%$ 到高值 $10^{-3}\%$)时,其在浮游生物中的丰度同样升高 4 个量级(从 $10^{-5}\%$ 到 $10^{-1}\%$)。

很自然,在升高此 4 个量级条件下, $U/C_{\text{有机}}$ 值随之升高,该值是公认的评价沉积岩有机质中铀丰度值(图 1)。

浮游生物的 $U/C_{\text{有机}}$ 比值与水中 U 丰度存在正相关关系。正是在水中,浮游生物通过微生物实现自身聚积。我们通过升高了的 $U/C_{\text{有机}}$ 值来判断水中铀丰度的升高。反之,用水中铀丰度的升高判断浮游生物中 U 丰度(或 $U/C_{\text{有机}}$)的升高。

放射生物学家还利用这一相关关系来研究其它放射性核质在现代洋的性状。

Г. H. 巴图林发现了水中 U 丰度与现代盆地沉积物中 $U/C_{\text{有机}}$ 值之间的相关性。然而正如图 1 所示,当水中 U 丰度值相同时,含克拉克值有机质丰度的现代沉积物中的 $U/C_{\text{有机}}$ 值比实验未分解浮游生物有机质中的该值明显偏高。原因在于:当有机质氧化消耗时, $U/C_{\text{有机}}$ 值依靠剩余铀的聚积而升高。当有机质氧化损失达 50% 时, $U/C_{\text{有机}}$ 比值升高两倍,当前者达 90%,该比值升高 10 倍。

根据我们的资料,富含有机质的黑色页岩沉积物在氧化过程中有机质的损失不超过 30%~50%。据此,用有机质 50% 的损失率绘制了黑色页岩中 $U/C_{\text{有机}}$ 比值与水中 U 丰度的相关曲线。

在水溶铀丰度正常值为 3.10%~7% 的现代洋内, $U/C_{\text{有机}}$ 的最小值见图 1。在水溶铀丰度超过正常值 10 倍的伊塞克湖,浮游生物的 $U/C_{\text{有机}}$ 值比海洋中的高一个数量级。

许多古可燃黑色页岩的 $U/C_{\text{有机}}$ 值清楚地表明,在沉积作用中,海相古生界盆地水溶铀的 $U/C_{\text{有机}}$ 值应高出正常值(3.10%~7%)12~16、20~60 倍,有时甚至达 200~300 左右。

根据 Г. H. 巴图林绘制的现代盆地的克拉克值和有机质高氧化损失值曲线图,得到的结果仍然是相同的,即在某些黑色页岩聚积过程中海相古盆地水中铀的丰度最少高出了正常值的 6~110 倍。

换句话说,许多聚积在海相和湖相盆地的黑色页岩沉积物,其中水溶铀的丰度高出现代洋正常值最多可达几十到几百倍。

在陆上的同一时代同样聚积了富含有机质的河流相和冲积相的放射性沉积物,其中形

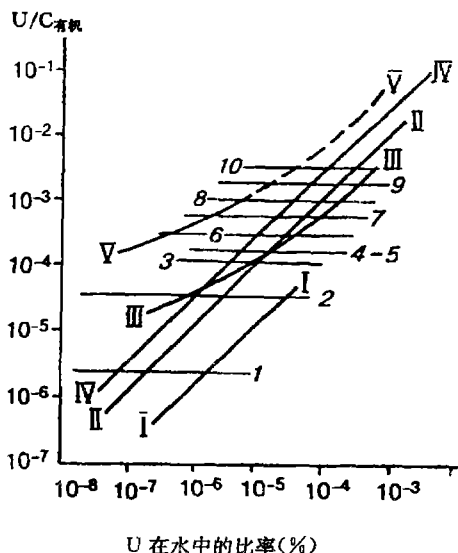


图 1 分散在水中 U 的丰度与聚集在生物有机质中 U 和有机碳比值($U/C_{\text{有机}}$)的相关性

图中: I. 浮游动物; II. 浮游植物; III. 细菌; IV. 浮游生物成因有机质氧化损耗在 50% 情况下(如在黑色页岩中); V. 现代盆地克拉克值的有机质(据 Г. H. 聂鲁乔夫)。1~10: $U/C_{\text{有机}}$ 平均值。其中: 1. 含正常水溶 U 丰度(3.10%~7%)的现代洋浮游生物; 2. 高出正常水溶 U 丰度 10 倍的伊塞克湖浮游生物; 黑色页岩内浮游生物成因有机质; 3. 上泥盆统; 4. 下寒武统; 5. 始新统; 6. 上侏罗统; 7. 上泥盆统(查坦努克阶); 8. 古新统; 9. 前寒武纪; 10. 圣-伊波利特页岩

成有工业沉积铀矿。矿床中铀的丰度超过了克拉克值的几千到几万倍。我们认为,这些短期(1~4 Ma)的高强放射性环境是当时生物灭绝和新动、植物种属迅速产生的原因。

我们也认为,这是目前已知的最强大的诱变因素,也就是地史上出现重大生物事件的主要原因。

1.2 其它因素

对生物圈影响较小的其他因素则是当时活跃的火山活动,海平面变化和气候变化等。

依据对几个实际剖面的研究结果,我们看到了这些时代的海洋和陆地动、植物群的巨大变化。那些剖面上所含的放射性黑色页岩,也就像世界古生物学和古植物学总结的那样。

1980年(当时在白垩系和古新统交界处首次发现了全球性 Ir 异常)之后,在西方研究重大古生物事件的活动十分活跃,其主要假说是宇宙星体撞击说。

近年来,关于古生物事件最有说服力的详细论述是 J. J. 谢普科斯基的著作。他所阐述的动物大量灭绝事件几乎全部与我们过去查明的放射性黑色页岩形成和动、植物群重大变化的时代相吻合。

谢普科斯基的学说的优先权是不容置疑的,而且我们还广为采用。但是他只阐明了诱变作用的一个方面——动物群灭绝,同样需要阐明的是该学说未及的另一面——新的动植物种属的产生。

正因为如此,谢普科斯基才未划分出文德系—寒武系分界处这一很重要的生物事件。该事件不具有生物灭绝的特点,但具有地史上第一次突然出现的骨骼动物群这样一个特点。骨骼动物群出现时间就是放射性黑色页岩和铀聚积的时间。在这一方面,明显的优先权属于埃·约翰·卡乌福曼。此人的观点认为,在白垩纪事件中,既有生物灭绝,几乎同时又有新动物种属产生。

在我们的观点和 Л. В. 阿里瓦列斯假说之间二者只能选择其一。后者认为白垩系—古新统分界处突然的动物灭绝超级大灾难是由于宇宙星体大爆炸撞击地球的结果。

1983年查明,在阿乌埃火山爆发时铀和其元素同地幔来的气体一起从白垩系—古新统分界层喷出(铀异常是该层的特征之一)。

古生物学资料证实,动物灭绝并非瞬间出现的。在白垩纪末,厚壳蛤和菊石亚纲等也并非瞬间消失,而是经过了1~2 Ma,直到始新统含铀的分界处地层出现后才消亡殆尽。恐龙的灭绝也经历了漫长的时间,其最终灭绝比所谓的宇宙大爆炸至少晚20~15万年。

在突尼斯艾利—凯福这个最完整的剖面上,重新发现了一个浮游有孔虫带,证明有孔虫的灭绝并不是一瞬间的和大灾难造成的(图2)。当时灭绝的有6个浮游有孔虫种属,其灭绝经历了大约1.1万年,另外6个种属的灭绝经历了0.4万年直到马斯特里赫特末期,还有11个种属灭绝于K—T分界处,而整个有孔虫种群经过5.5~16万年在白垩纪末才彻底灭绝,并形成了Ir异常。

G. Cretacea 和 G. Trifolia 有孔虫种属的形成绝不是对假设宇宙事件的反应,而是对K—T分界处生物事件的反应。正像其它类似事件一样,该分处界生物事件不仅包括有生物的大量灭绝,还有新种属的产生。

在K—T分界处,尚未完全灭绝的还有最后一批晚白垩纪有孔虫,此时,古新世有孔虫已经出现,后者是在分界层之后过了大约0.4万年出现的(图2)。

从地质学角度看,1~3 Ma的时间跨度,就是对于类似其他生物灭绝和新种属的产生来

说,也不算转瞬之间。其它各次铱异常的出现,也不能解释为宇宙星体撞击的结果,而是在地球作用过程中形成的。

对撞击说持不同看法的不仅仅有我,还有许多其他西方学者^[15]。

参考文献[15]论证了生物灭绝事件的地球内生原因。该文指出了中生界生物大量灭绝事件与玄武岩大量喷发在时间上的重合。该文认为,地幔物质来到地表引起构造运动加强、海平面和气候变化。大量硫、碳、卤素和灰质被搬运到对流层和平流层下部与玄武岩喷发有关。

硫质太古界形成的结果出现了全球性变冷。大量 CO_2 的出现及与水的相互作用促进了酸性水的产生,造成碳酸盐灾难。与卤素作用和硫酸雨作用同时发生的还有海洋化学的剧变,并在含钙质海洋生物特别是表层水动物中产生了生态应力。

笔者认为,宜将 K—T 分界处的 Ir 异常和其它化学指标解释为地球机制,而不是宇宙星体撞击地球的结果。

这种结论有益于生物事件出现的地球内生原因。我们意见中最主要的一条是:环境的放射性高异常是非常重要的一个作用因子,但对此完全未引起西方学者注意。

2 显生宙重大地质生物事件界定

首先来界定全球性重大地质生物事件,同时描述其在地质年代地层表中的位置以及主要特征。

2.1 第 1 次事件记录于文德系与寒武系之分界处。

地史上第一批骨骼动物群突然出现在放射性磷灰岩和黑色页岩岩系之底板(哈萨克斯坦的马尔、卡拉塔乌,同样见之于西伯利亚萨亚内)。在中国,寒武系骨骼动物群也同样与含高丰度铀、磷和稀土元素的沉积层同步出现。在该国许多地区的寒武系基底发育有含 Ni—Mo 矿石的黑色页岩,其中出现有 Ir 异常(达 11~13 mg/t)。在阿拉伯湾文德系—寒武系交界处发现有富含有机质的岩层存在。下寒武统黑色页岩在世界其他许多地区也有发现。

2.2 第 2 次事件记录于下、中寒武统之交界处

在东西西伯利亚发现了库奥那木组放射性黑色页岩的聚积,在该组的同类剖面上,依据三叶虫种群的变化可以划分出下中寒武统之界面。在吉尔吉斯、南哈萨克斯坦和南天山也有下中寒武统的相似含碳页岩。在北美(西南部)中寒武统剖面上发现了页岩。在欧洲的瑞典也有中寒武统黑页岩。许多科学家,其中包括谢普科斯基都发现了下中寒武统分界处动物群

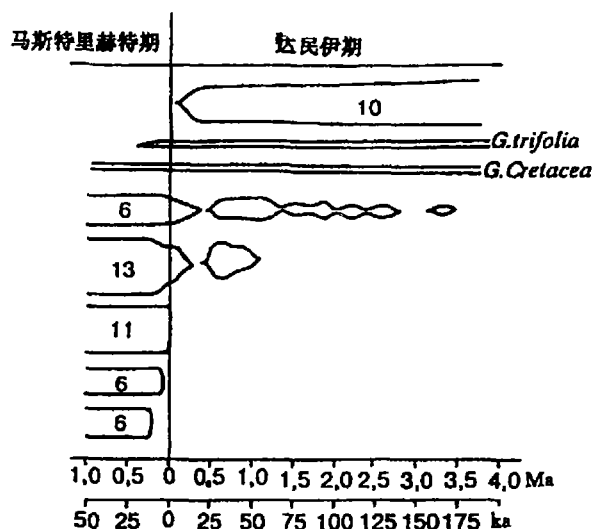


图 2 突尼斯艾利—凯福剖面白垩系和古新统分界处浮游有孔虫灭绝和新种属浮游有孔虫出现(图中数字表示种数)

的重大变化。

2.3 第3次事件记录于上寒武统和奥陶系分界处

在欧洲(斯堪的纳维亚、爱沙尼亚、俄罗斯列宁格勒地区、皮林半岛),上寒武统和奥陶系放射性页岩广泛分布。在美洲(加拿大西纽芬兰岛)存在有富含有机质的油源岩。在南美(阿根廷)硅质—泥质页岩赋存在上寒武统一奥陶系。在亚洲(中天山)该地层发育有碳质—硅质含钒页岩。在斯堪的纳维亚和北美的同龄黑色笔石页岩中发现了 Ir 富集,达 $0.03 \sim 0.05 \text{ ng/g}$,而在新苏格兰(纳里岛)这种富集达 0.34 ng/g 。许多科学家指出,正是依据动物群的重大变化才划分出寒武系与奥陶系之界面。

2.4 第4次事件记录于奥陶系

在欧洲(爱沙尼亚,列宁格勒地区,白俄罗斯),兰杰伊尔—卡拉多克阶下部有富含有机质页岩。在澳大利亚坎宁戈盆地,含 *Gleocapsomorpha* 的同类油页岩也出现在同样的层位。在北美(美国的纽约州,伊利诺州,艾奥瓦,内华达州,田纳西州和威斯康星州和加拿大的育空)分布有奥陶系黑色腐泥型页岩。谢普科斯基发现了兰维尔阶海洋动物灭绝的中等峰值,在该阶和卡拉多克阶发现了高峰值。

2.5 第5次事件记录于奥陶系与志留系分界处

在欧洲的英国、瑞典和立陶宛发现有下列多维尔里阶黑色放射性页岩。亚洲的中国南部黑色页岩出现在奥陶系—志留系下部剖面上,在泰国北部也有发现。在西伯利亚下兰多维尔里阶发育有阿纳巴尔黑色页岩。在北美加拿大和桑普顿岛的奥陶系—志留统发现有“油”页岩。在苏格兰上奥陶统一志留系黑色笔石页岩中发现了 Ir 的稳定高丰度,达 0.25 mg/t 。谢普科斯基指出,在奥陶系和志留系分界处,曾有一次大量海洋动物灭绝事件。

2.6 第6次事件记录于志留系和泥盆系分界处

在欧洲的滨波罗的海地区,高含有机质的黑色页岩聚积在下卢得罗夫阶。在白俄罗斯的卢得罗夫阶也有同类发现。在捷克,上志留统黑色笔石页岩互层则含有灰岩。在西伯利亚上志留统碳酸盐岩高含有机质。在捷克上志留统黑色页岩中, Ir 的丰度略有升高,为 $3 \sim 17 \text{ ng/g}$ 。根据谢普科斯基的理论,海洋动物的整体灭绝量很大,而且没有明显的局部高值现象,就像奥陶纪事件一样。根据参考文献[14],该事件还具有大量(超过死亡量)新动物种属出现的特征。

2.7 第7次事件出现于中泥盆世末—晚泥盆世,并分为三个阶段

在海洋动物大量灭绝总的背景下,谢普科斯基将该事件分为吉维齐期、上费兰期和下发门那期等三个阶段。吉维齐阶的黑色页岩我们尚未查明。在欧洲俄罗斯伏尔加—乌拉尔地区发现有有机质丰度为 4.5% 的吉维齐阶泥岩—碳酸盐岩。在白俄罗斯发现的富含有机质页岩的剖面比艾斐尔阶稍低些。在北美阿拉巴契山脉的中泥盆统也有存在黑色页岩的信息。

弗兰阶含高丰度铀和含沥青的黑色页岩广泛发育于俄罗斯地台东部以及乌拉尔、白俄罗斯和德国。在亚洲,有中国四川省的弗兰阶油页岩,发育在泥盆系和石炭系交界处的放射性黑色页岩亦广为分布。在欧洲,俄罗斯、白俄罗斯、波兰、法国、皮林半岛和苏格兰这一地层的放射性黑色页岩也是尽人皆知的。在北美(美国)黑色页岩则广泛赋存于泥盆系—石炭系交界处(包括恰塔努戈页岩、布德—弗尔特页岩和巴赤页岩等)。在南美洲(巴西)存在有上泥盆统放射性黑色页岩,在北美洲(加拿大)油页岩则见之于弗兰阶。在美国(俄克拉阿马)发现了 Ir 异常的上泥盆统一密西西比阶页岩,该异常在布特—弗尔特页岩的盖层内为

0.25 ng/g,在剖面以上 2 m 处的密西西比阶卡涅伊页岩中为 0.56 ng/g。

2.8 第 8 次事件记录于石炭系密西西比阶与宾夕法尼亚阶交界处

根据谢普科斯基的资料,海洋动物群大量灭绝的显著峰值出现在谢尔普霍夫阶。在波兰上聂西列兹盆地的下、中石炭统交界处发现有黑色油页岩。在俄罗斯伏尔加—乌拉尔地区的谢尔普霍夫阶则有富含有机质的碳酸盐沉积物聚集。在巴什基尔阶的超覆层内有机质丰度达 20% 的粉砂质岩。很可惜,石炭系黑色页岩在世界其他地方是否存在我们暂未弄清。在美国俄克拉何马州的密西西比阶和宾夕法尼亚阶交界处发现有弱 Ir 异常,其较强异常见之于中得克萨斯,为 0.38 ng/g。

2.9 第 9 次事件发生的位置在石炭系与二叠系的交界处

在欧洲西班牙(伊比利亚)发现有上斯捷潘阶油页岩。在法国的石炭和二叠系交界处则有奥捷那油页岩。在亚洲哈萨克斯坦的石炭与二叠系交界处形成有刚杰尔勒克油页岩。宾夕法尼亚黑色页岩的广泛分布还见之于北美(美国),但是准确的地层位置我们尚不得而知。加拿大的新苏格兰和纽芬兰的上宾夕法尼亚阶也有黑色页岩。在欧洲有上石炭统一下二叠统含沥青页岩沉积铀矿和下二叠统火山成因—陆相沉积油矿。谢普科斯基查明:在晚斯捷潘期,海洋动物群曾发生大量灭绝。是否存在高丰度 Ir 值目前尚不清楚。

2.10 第 10 次事件记录于二叠系与三叠系分界处

在欧洲,这一事件广泛记录在黑色含铜镁灰质页岩中。在亚洲(中国新疆)则有湖相含沥青页岩。在日本有富含有机质的二叠—三叠系分界处页岩。在印度有长身贝页岩。在北美洲广泛分布有上二叠统黑色页岩和磷灰岩。在南美洲(巴西、乌拉圭)有上二叠统伊拉第页岩。在非洲有卡卢深褐色燧煤系。在澳大利亚和塔斯曼海发育有上二叠统腐泥型深褐色燧煤(覆盖在三叠系沉积物之上)。在上二叠统一下三叠统还发现有沉积铀矿床。法国和意大利有上二叠统铀矿,西班牙有下三叠统沉积铀矿。南美洲普列德科尔基里耶尔地区有上二叠统层状铀矿床(矿石年龄为 250 Ma)。许多学者都指出了二叠纪末的大量生物灭绝事件。谢普科斯基描述了海洋动物群大量灭绝的特征。该事件还表现为强烈的玄武岩火山作用,特别是在西伯利亚。该事件不仅有海相黑色含铀页岩和放射性磷灰岩广泛分布的特征,还有陆相(冲积相和湖相)沉积中大型沉积铀矿形成的特征(例如在美国的犹他州和阿肯色州)。中国学者曾介绍过二叠与三叠系分界处 Ir 高丰度异常(5~8 ng/g),但尚未被奥恩 C. J 所证实。奥恩在奥地利和阿尔卑斯山二叠—三叠系分界处发现了两个中等强度的 Ir 峰值。

2.11 第 11 次事件记录于上三叠统

在奥地利、瑞士、德国、挪威(斯匹次卑尔根)均发现有该统黑色腐泥型页岩,其年龄测定为卡尼克阶—谱利克阶。在斯匹次卑尔根含磷灰岩的黑色页岩层还包括瑞替阶。在美国的北卡洛林有三叠系黑色页岩。据谢普科斯基的资料,该事件反映了诺克阶上部海洋动物大量灭绝的峰值。在新苏格兰三叠和侏罗系分界处发现了 Ir 异常(—0.15 ng/g)。在加拿大萨默赛特岛三叠和侏系分界处磷酸盐岩带 Ir 丰度为 0.3~2.06 ng/g,而在磷酸盐岩团块内则达 0.40 ng/g。同时还发现有高丰度稀土元素。

2.12 第 12 次事件记录于侏罗系普林斯巴赫阶与托阿尔阶分界处

在欧洲下萨克森盆地、北意大利、德国、法国的巴黎盆地和英国等都分布有该年龄的黑色页岩。在非洲,该年龄黑色页岩见之于中央突尼斯。在北美高含放射性泥灰岩(普林斯巴赫阶)分布于西加拿大盆地。在东、西西伯利亚也有此年龄黑色页岩。根据谢普科斯基的资

料,该事件有普林斯巴赫—托阿尔阶动物群大量灭绝峰值。据参考文献^[16],该事件还有强烈玄武岩喷发之特征(1.9~2.0 亿年前),撞击火山口的出现率也达峰值。

2.13 第 13 次事件记录于上侏罗统

黑页岩聚积分为两个阶段——莫里阶和齐顿阶。在欧洲,莫里阶富含有机质黑色页岩见之于英国,上侏罗统(伏尔加阶)放射性页岩见之于北海、什皮兹别尔根、巴伦支海、法国、波兰、俄罗斯地台东部(喀尔巴阡山至提马诺)等地。在亚洲西西伯利亚和哈萨克斯坦广泛分布有该年龄放射性页岩。在北美洲,该年龄黑色页岩和油源岩分布在加拿大(让德阿尔克盆地)和美国东部。在北美洲(美国卡罗拉多州、新泽西州、达何马州、怀俄明州)上侏罗统陆上河相和冲积相沉积物中发现有沉积铀矿。侏罗和白垩系分界处铀的沉积矿化作用还见之于泰国。侏罗——白垩系交界处含铀磷灰岩聚积还出现在欧洲、南美洲(巴西地台)。谢普科斯基指出,在卡洛阶和齐顿阶出现有中等程度的海洋动物灭绝。年龄为 170 ± 5 Ma 的玄武岩熔岩的喷发在时代上与卡洛阶生物灭绝的峰值大致相吻(或者先于该峰值)。西南非洲和南美洲的玄武岩喷发与上侏罗统生物灭绝同时出现。在该事件的齐顿阶还对应有撞击火山口峰值。同龄玄武岩熔岩还出现在南极。在西伯利亚北部,发现有侏罗—白垩系交界处的 Ir 异常,达 10 mg/t。

2.14 第 14 次事件记录于白垩系

黑页岩聚积分为两个阶段即第一阶段亚普第阶—阿尔必阶和第二阶段赛诺曼阶—土仑阶。前者黑色页岩见之于北大西洋、西班牙和比斯开湾。在北美(加拿大、艾伯塔)有富含有机质的阿尔必阶放射性泥岩。在西内盆地,从艾伯塔省到卡罗拉多州南部有富含有机质的晚阿尔必期黑色页岩。在阿尔必和赛诺曼阶分界处广泛分布有反映动物灭绝阶段的“鱼层”。后者黑色页岩的分布相当广泛,其见之于西班牙、意大利、土耳其、乌克兰(克里木)、西伯利亚、阿特拉斯盆地、尼日利亚、安哥拉等地。在南美洲同类页岩见之于委内瑞拉。富含有机质的赛诺曼阶沉积物在整个北大西洋均有聚积。赛诺曼阶沉积铀矿见之于欧洲的捷克。强烈玄武岩火山作用既出现于前者(110 ± 5 Ma),又出现于后者(93 ± 3 Ma)。在北美,科罗拉多河流域发现了两处赛诺曼—土仑阶 Ir 异常(0.11 ng/s)。据 P. Б. 斯托切尔资料,普普第一阿尔必阶沉积物聚积量与撞击火山口出现率吻合。据谢普科斯基资料,该事件反映了亚普第和赛诺曼阶两次海洋动物群绝灭中等峰值。

2.15 第 15 次事件记录于上白垩统

该事件与所有学者确定的上白垩统动物群大量灭绝事件完全吻合。据谢普科斯基资料,该事件还反映了马斯特里赫特生物灭绝高值。该年龄的放射性页岩和磷灰岩分布于东地中海(以色列、约旦、土耳其)。摩洛哥也有马斯特里赫特磷灰岩和黑页岩。在格陵兰则有马斯特里赫特含沥青页岩。在亚洲巴基斯坦的俾路支,黑色马斯特里赫特页岩直接反映了古新统的动物区系。在北美洲泡德河—里沃盆地以及南达科他、内布拉斯加、科罗拉多、堪萨斯和得克萨斯均有上白垩统页岩。晚白垩世末—古新世初,在陆相 форт—юпион 建造中形成了工业沉积铀矿。在南美洲(阿根廷,麦杰那洼地)有上白垩统陆相沉积层沉积铀矿。

在印度(66 ± 2 Ma)和爱尔兰(62 ± 3 Ma)出现的强烈玄武岩喷发在时间与该事件吻合。正是在白垩系与古新统交界处首先发现了全球 Ir 强异常,其值为背景丰度值的 20~30 倍,甚至高达 160 倍。该事件中在时间上还与撞击火山口出现率峰值大致吻合。

2.16 第16次事件发生于晚始新世—渐新世初

据谢普科斯基资料,该事件表现了动物群的大量灭绝。世界许多地方出现了黑色放射性页岩聚积。在欧洲、西班牙、奥地利、德国、土耳其、俄罗斯(北高加索)和阿塞拜疆均有始新统页岩。在北美洲,有始新统格林—里沃湖相黑页岩和克列因哈根海相页岩。始新统海相和湖相页岩也广泛分布于亚洲(乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、阿富汗和印度坎贝湾盆地)。在中国、南美洲(巴西)和澳大利亚也有始新统黑页岩。渐新统页岩则见之于欧洲的西班牙、南斯拉夫、波兰、乌克兰。在美国见之于蒙塔那州。在埃塞俄比亚查明,强烈的玄武岩喷发在时间上与该事件吻合。据文献^[16],该事件具有撞击火山口出现率高之特征。在始新统和渐新统分处界附近还发现了不大的Ir异常。

2.17 第17次事件记录于中新统

谢普科斯基描述了该事件中海洋动物群的一次不大的灭绝峰值。在斯洛文尼亚有中中新统富含有机质的含沥青页岩。在德国南部有上中新统黑色湖相页岩。在西西里岛、俄罗斯达吉斯坦和阿塞拜疆有萨尔马特油页岩。在北美洲广泛分布有中新统蒙特列伊页岩。在欧洲(捷克和土耳其)的含煤泥岩和泥炭中赋存有中新统沉积铀矿。在亚洲日本有含铀河流相和湖相沉积。在北美洲,美国(怀俄明州)和加拿大(大不列颠哥伦比亚)有该时代沉积油矿。中新统沉积铀矿在南美洲和澳大利亚也有发现。在南美洲的该时代(16 ± 1 Ma)出现过玄武岩强烈喷发。据文献^[16],该事件伴有撞击火山口出现率峰值。

这样,在显生宙共出现了17次重大地质生物事件。若要将亚普第和赛诺曼阶事件看成一个独立事件,则总计为18次重大事件。

3 显生宙重大地质生物事件的周期性和特征

3.1 显生宙重大地质生物事件的周期性

如果认为,5.7亿年内(从寒武纪到中新世)出现了17次重大的地质生物事件,那么,其出现的平均周期则为33.5 Ma。若这类事件出现了18次,其周期则为31.6 Ma。

笔者在1982年就指出,这类事件出现的周期为30 Ma^[3]。

M. P. 拉姆皮诺和P. B. 斯托切尔斯对各种地质事件的研究给予了极大的关注。该二人将0~2.5亿年期间的陆相玄武岩喷发周期确定为 324 ± 1 Ma,出现碳酸盐岩侵入周期为 344 ± 2 Ma,大陆漂移周期为 34 ± 2 Ma,海平面下降周期 33 ± 1 Ma,重大大地构造事件周期 33 ± 3 Ma,出现撞击火山口周期 32 ± 2 Ma,出现生物大量灭绝事件周期24~33 Ma。

这样,根据不同学者的资料,各种地质的、生物的,甚至包括宇宙事件(宇宙行星殒落并形成撞击火山口)的平均出现周期约为30 Ma。

笔者(1982)还指出^[3],在全球性分布的海相含铀黑色页岩剖面上以及与之吻合的重大生物事件(V—Є, D₃—C₁, J₃—K₁),约经2.2亿年重复出现一次,这就与帕列纳果计算的银河年的长度大致吻合。帕列纳果算出了太阳的轨道,但却没有考虑银河系的螺旋构造。帕列纳果算出了太阳绕银心旋转一周的银河年长度为2.12亿年^[19,20]。

根据V. B. 哈尔连德的地质年代地层表,可以最精确地算出第二圈旋转(从早泥盆世末到晚侏罗世末)所用的时间(3.6亿年—1.44亿年=2.15亿年),与帕列纳果用天文学资料算出的银河年长度理论值只相差4 Ma^[21]。

利用以地质年代地层表为根据的银河年的长度,可以算出第一圈旋转开始的最可能时

间(3.6 亿年+2.16 年=5.75 亿年)。需要提示的是,若不考虑新的衰变常数,按照伦敦地质协会的地质年系表(1964),文德系和寒武系的分界年龄为 5.79 亿年,而按阿尔姆斯洛戈的年系表,该值则为 5.74 亿年,二者的平均值为 5.765 亿年,与笔者确定的 5.76 亿年相吻合。

笔者认为,У. Б. 哈尔连德计算的 $V-E$ 的分界年龄是过大了些^[20]。

这样,参照帕列纳果的天文学资料,依据地质年系表计算的银河年的长度为 2.16 亿年。

Ю. А. 扎科尔达耶夫根据对 71 种地质年代地层表的统计研究结果,算出符合银河年的最大长度为 2.17 亿年^[22],也就是说实际上并无差异。

笔者在 1982 年已经深入研究了与银河年长度(约 2.20 亿年)相吻合并与 1 个银河年内的小周期(30 Ma)相吻合的地质和生物事件的周期性^[3]。过去 15 年内世界科学界积累的大量新资料,足以将这一问题研究得更透彻。

图 3~5 给出了这样一些信息,即含铀放射性黑色页岩的聚积年代、铀异常的形成、陆相玄武岩的强烈喷发、海平面的变化、工业铀矿的形成、撞击火山的形成和地球有机界强烈变化的出现等。所有这些现象均表现为相互作用并在地史上一定时间内同时发生,并且反映出平均周期值为 30 Ma 的重大地质生物事件的方方面面。

查明放射性黑色页岩形成的地质年代是我们在总结大量文献及多年野外调查工作基础上完成的。

铀异常的地层位置资料主要依据奥恩和其他人的著作^[14,17,23],而玄武岩的强烈喷发主要依据 P. Б. 斯托切尔斯和 M. P. 拉姆皮诺的资料^[16]。海平面变化曲线资料来自普拉特-特克托尼克阿拉斯及其他人^[24]。确定直径大于 10 km 撞击火山口的出现率根据斯托切尔斯和拉姆皮诺的资料。海洋动物群灭绝曲线据普科斯基谢的著作^[8,9]。

工业铀矿出现率曲线(间隔 10 Ma)是我们首次在总结大量实际资料制的^[25~33]。关于铀矿矿石的年龄问题用了大约 260 种资料。

对于沉积铀矿来说,在计算时,基本上确定的是铀矿矿石的绝对年龄,至少确定了围岩沉积物的年龄,因为大部分的这类铀矿都是与围岩沉积物共生的或接近共生的。

莫里松关于工业含铀建造的研究资料及其所使用的 Rb—Sr 方法证实了这一观点。围岩的年龄为 148 ± 9 Ma,含铀矿化作用的年龄为 130 ± 12 Ma,也就是说沉积物的沉积作用及铀矿石的形成时间为晚侏罗世的放射性期,该期动物群和植物群有强烈变化之特点。

3.2 第 I 银河年期间出现的地质生物事件以及特征

现在来研究显生宙第 I 银河年内出现的地质及生物事件及其周期的特征(图 3)。

其间出现过 7 次短期的海相放射性含铀页岩的聚积,而且,发生在该银河年末的最后一次聚积具有三个阶段。在 17 Ma 期间,三个阶段一个接一个地迅速出现。

在弗兰阶和发门那阶许多放射性页岩聚积区是不连续的。从第 1 次到第 7 次第 1 阶段放射性页岩聚积期出现的平均周期为 33.3 Ma。后来在该银河年末还出现过两个放射性沉积物形成阶段即第 7 次第 2、3 阶段(图 3),其分别经历了 7 Ma 和 10 Ma。

根据参考文献^[24]的曲线,在银河年期间,出现过 7 次海侵,其间形成了黑色放射性页岩。从板块构造学观点来看,可用海侵期海平面的上升来确定板块漂移速度的增加、地幔物质的大量涌出和持续抬升的中洋脊的形成。洋脊的形成减少了海洋的体积,决定了海平面上升和向大陆海侵^[34]。从这些观点看,放射性黑色页岩的形成发生在裂谷作用强烈时期,大陆漂移速度增大和海水沿地幔玄武岩的断裂处大量上侵。

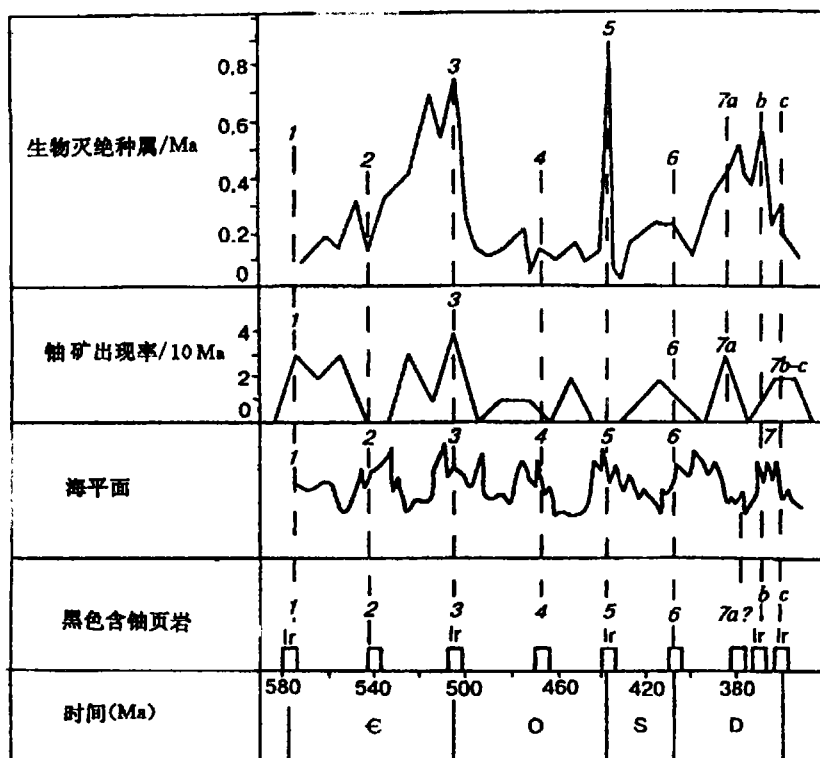


图3 显生宙第I 银河年的主要地质及生物事件的周期性

图中:黑色页岩聚积的地层位置据CT 聂鲁乔夫;铀聚积据^[14];海平面变化据参^[24];铀矿出现率据聂鲁乔夫;海洋无脊椎动物群大量死亡据^[8,9];1~7 为重大事件编号。

在构造板块活跃时出现的该银河年的7次放射性黑色页岩的大量形成中有4次与各类工业铀矿的大量形成相吻合。显然,在黑色页岩形成期,进入地壳的不仅有玄武岩,还有铀,于是就引起了海相含铀页岩的形成,并且还形成了工业铀矿。生物圈也出现相应反应:生物繁殖率(首先是兰门藻)异常的高和诱变作用强烈。后者既出现在当时生物的大量死亡过程中,又出现在新的动物种属和植物种属的产生过程中。

加上谢普科斯基未划分出的文德系和寒武系分界处、志留系和泥盆系分界处的两次生物事件,该银河年内共出现了7次地质生物事件。

第I—1次事件(V—E₁),同步发生的有放射性黑色页岩、磷钙土和铀的聚积,和铀矿床的形成。第I—2次事件(E₁—E₂),与之相应的有海相放射性沉积物的聚积和海侵,后者即构造板块运动的活化和地幔物质的进入。第I—3次事件:放射性黑色页岩、铀的聚积,海侵和工业铀矿的大量形成。第I—4次事件,即谢普科斯基指出的奥陶统(兰维尔恩阶)的生物事件,出现有海侵、铀矿较大量的形成,与放射性页岩的形成时间并不完全吻合。第I—5次事件(O—S 交界处),出现海相动物各属的大量灭绝,与之对应的是放射性黑色页岩、铀的聚积和海侵。第I—6次事件(S—D 交界处),虽然谢普科斯基未提及,但根据他的资料,该事件中动物群的死亡量与第4次相当,同时有海相放射性黑色页岩的聚积,铀矿的最大量形成、海侵、构造板块活跃程度增大。第I—7次事件,该次第1阶段(I—7a)动物群的大量灭

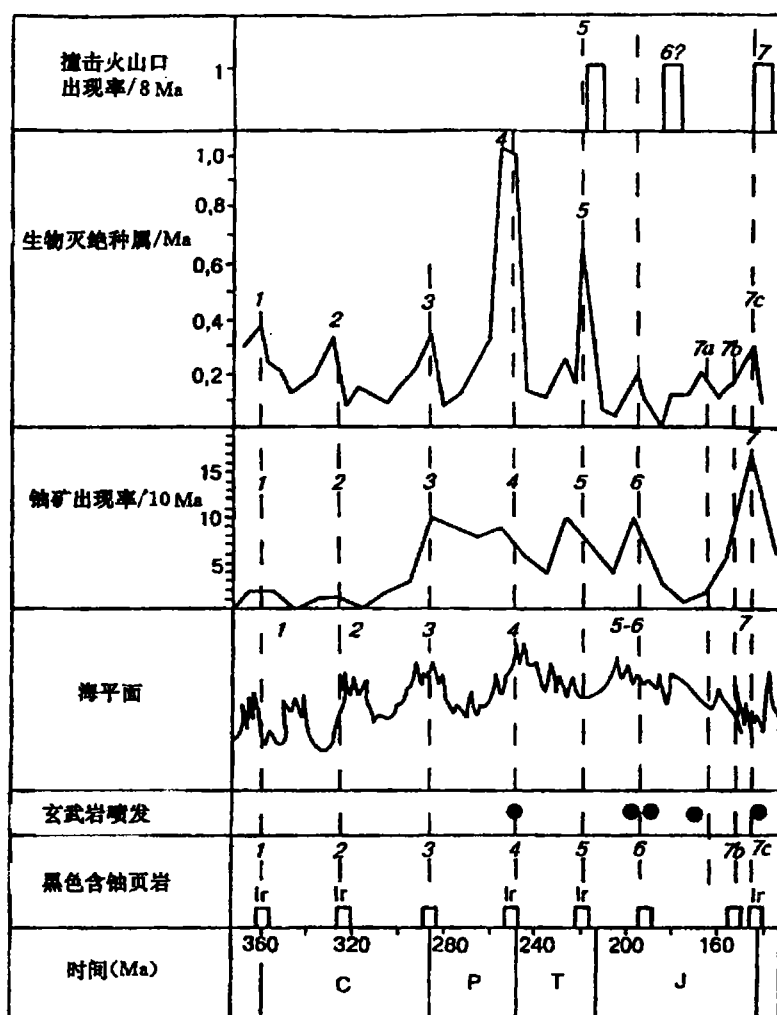


图4 显生宙第Ⅱ银河年期间主要地质及生物事件的周期性

图中:黑色页岩聚集体 C. Г. 聂鲁乔夫; 铀富集据参考文献[14], 玄武岩喷发据参考文献[16], 海平面变化据参[24], 铀矿出现率据聂鲁乔夫; 海相无脊椎动物大量死亡据参考[8, 9], 能精确测定的直径大于 10 km 撞击火山坑出现率据参[16]。

绝从时间上对应于(非典型的)海相页岩的形成、海侵末期和铀矿的最大量形成。I—1~I—7a 次地质生物事件的平均出现周期同海相放射性黑色页岩形成的周期一样, 均为 33.3 Ma。第 7 次第 1 阶段(I—7a)之后紧接着很快出现了该事件的第 2(I—7b)和第 3(I—7c)阶段(弗兰阶和发门那阶), 同时伴有海侵、海相放射性黑色页岩的形成、工业铀矿的形成。至此, 显生宙的第 I 银河年即告结束。

3.3 第Ⅱ银河年(始于石炭纪, 末于侏罗纪, 共 2.16 亿年)的地质生物事件及其特征

就像第 I 银河年一样, 该年也具有多次短期出现的海相放射性黑色页岩聚积、7 次海侵(第 5 次和第 6 次海侵可以合二为一)和 7 次重大生物事件。并以浮游植物大量繁殖、原有生物大量灭绝和新种属大量产生等为异常来划分。差不多在每次事件中都有黑色含铀页岩的

聚积、铀聚积和工业铀矿的大量形成(图4)。根据参考文献^[16],这些重大的地质生物事件的划分依据仍然是玄武岩在陆上的强烈喷发,由于宇宙星体撞击地球,其中若干次喷发形成了大量的撞击火山口。

第Ⅱ个银河年的第1次事件(Ⅱ-1)是第Ⅰ个银河年第7次事件(Ⅰ-7)的最后一个阶段,出现在D₃-C₁交界处。关于这一点,上文已经提及。第Ⅱ-2事件出现在密西西比阶与宾夕法尼亚阶交界处,同样具有海相含铀沉积物铀的聚积、海侵、构造板块活跃和地幔玄武岩大量喷发等特点,铀矿形成量动物群灭绝量不大。第Ⅱ-3事件(C-P):海相放射性黑色页岩形成,海侵,工业铀矿大量形成,动物群灭绝量达峰值。第Ⅱ-4事件——二叠系和三叠系交界处的生物大量灭绝事件。同时发生的有海相放射性页岩的聚积、海侵、铀矿的最大量形成和玄武岩在陆上的大量喷发以及动物群的大量灭绝。第Ⅱ-5事件(上三叠统)的所有特征与上述各次相同(如页岩和铀的聚积、铀矿形成、动物群大量灭绝等)。除此之外撞击火山口的形成也是该事件的特征之一。第Ⅱ-6事件(普林斯巴赫阶—托阿尔阶)的特征是海相放射性页岩的聚积,陆上工业铀矿的大量形成,海侵,构造板块的活跃,动物群的大量灭绝。第Ⅱ-7生物事件出现在卡洛阶(图4, 7a),但未发生典型海相含铀页岩的聚积(是我们对此尚未弄清也未必可知)。这是唯一一个与放射性黑色页岩形成不相吻合的生物事件。在该时期虽然有工业铀矿的形成,但其出现率不高。

Ⅱ-1~Ⅱ-7a次重大地质生物事件出现的平均周期为32.3 Ma。第7事件的第2阶段(Ⅱ-7b)是启莫里阶,其在第Ⅱ-7第1阶段(Ⅱ-7a)发生13 Ma之后接着出现,其特征是海相黑色页岩的聚积、工业铀矿的大量形成、海相无脊椎动物群灭绝量较大。只有有孔虫灭绝量最大,珊瑚类和海胆灭绝量较小。在第Ⅱ-7事件的第3阶段(Ⅱ-7c)即齐顿阶是重要的,其特征为海相放射性黑色页岩的广泛聚积、铀聚积、玄武岩在陆上的大量喷发、工业铀矿形成量达相当峰值、海洋动物群灭绝量较之卡洛阶量大和地表撞击火山口出现率达峰值等。

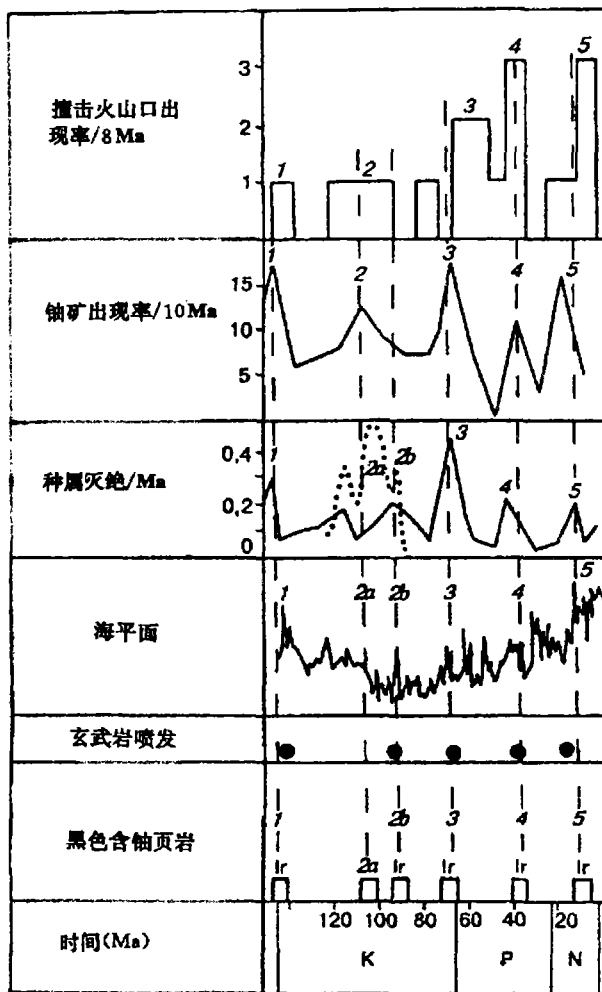


图5 第Ⅱ银河年内主要地质及生物事件的周期性

图中:黑色页岩聚积的地层位置据C. Г. 聂鲁乔夫;铀聚积的地层位置据参[14];玄武岩喷发据参[16];海平面变化据参[24];动物群大量死亡据[8, 9];虚线据[10];铀矿出现率据:聂鲁乔夫;撞击火山口出现率据参[34]。

到此为止,显生宙第2个银河年即告结束。

3.4 第Ⅲ银河年(始于侏罗纪末—白垩纪初并持续到现代)的重大事件及其特征

在尚未终结的该第Ⅲ银河年内共出现5次大的放射性黑色页岩聚积。第Ⅲ—1次在侏罗系与白垩系之分界处,第Ⅲ—2次包括两个阶段,即阿尔必阶(Ⅲ—2a)和塞诺曼—土伦阶(Ⅲ—2b)。第Ⅲ—3次在白垩系与古新统之分界处。第Ⅲ—4次在上始新统至下渐新统。第Ⅲ—5次在中中新统(图5)。

根据现有资料,除了Ⅲ—2a外,其它各次均具有铀在沉积物中的高丰度聚积和大陆上出现玄武岩强烈喷发以及工业铀矿大量形成等特征。这些特征与地表上形成大量撞击火山口的情况相吻合。根据更早更详细的资料认为,海洋动物群的最大量死亡发生在晚阿尔必期,而土伦期的死亡量比较小。从整体看,铀矿形成的最大限度量与该事件在出现时间上相吻合(图6)。

根据参考文献[10],动物群的最大灭绝强度与新种属的产生差不多同时出现。关于这一点我们过去也注意到了。所以,应当正确地说,这不仅是一个生物灭绝事件,而且是一个在强放射性环境下强诱变作用中产生的事件。在该诱变过程完成时,既有当时动物的大量死亡,又有新动物种属的出现。全球性浮游生物的繁荣也是这类事件的典型特征。浮游生物主要有聚积铀的兰门藻。这些细菌不断把自己产生的排泄物从海洋盆地带人沉积物,即富含有机质和铀的黑色页岩中。

关于第Ⅲ—1事件前文已述。在Ⅲ—2a事件:黑色放射性页岩聚积,海侵结束,工业铀矿大量形成,撞击火山口大量形成,旧物种死亡,新种诞生。在Ⅲ—2b:黑色放射性页岩和铀聚积,玄武岩在大陆上喷发强烈,短期的海侵峰值。在第Ⅲ—3事件:放射性黑色页岩聚积;全球性铀异常形成;铀矿大量形成;玄武岩喷发强烈;短期海侵峰值;撞击火山坑大量形成;动物群大量灭绝。第Ⅲ—4事件的特征与前述一系列典型过程相同。第Ⅲ银河年的4次事件的平均出现周期为33.5 Ma。

综上所述可以看出,每个银河年的每次事件都具有相应相条件下的海相放射性黑色页岩聚积之特征。除此之外,多数重大事件也都有陆上湖相含铀页岩聚积和河流相、冲积相沉积工业铀矿的形成之特征。与谢普科斯基观点吻合的是,这些事件还具有海洋动物群大量灭之特征,按照我们之观点,则是原有动、植物群的大量灭绝和新的生物种属出现之特征。对于较远时代的铀异常目前尚未完全查明,但从晚二叠世开始,差不多所有的事件都伴有玄武岩之强烈喷发。在之以后的大多数事件发生之时代,沉

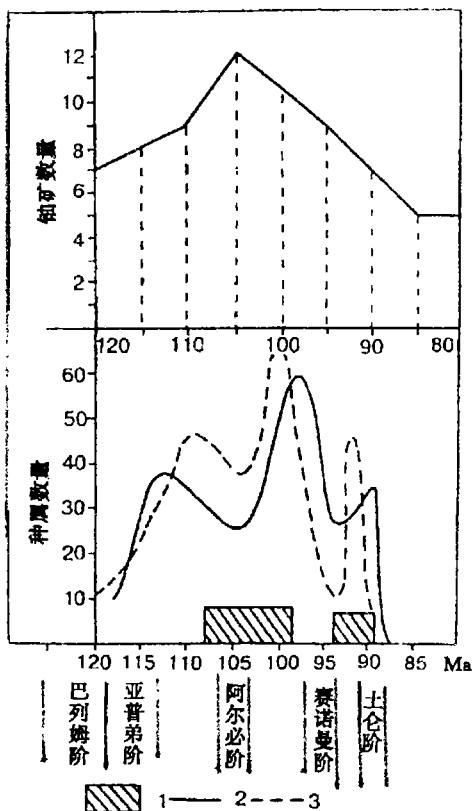


图6 中白垩世事件

1. 黑页岩(据C. Г. 聂鲁乔夫); 2. 当时的菊石目种属的灭绝; 3. 菊石目新种属的出现^[10]、铀矿形成数量(据聂鲁乔夫)

积物中大都含有铀异常。奥恩认为只有一次事件(K—T)的铀异常是宇宙星体撞击的结果,而其他学者则认为这是地球作用的缘故。

对于较远时代的撞击火山口目前尚未完全弄清,但从晚三叠世开始的大多数事件都具有撞击火山口大量出现之特征,且沉积物也存在微小熔陨石。在宇宙撞击原因和地球原因为主的两个假说中各国科学家坚持何种观点并不重要,重要的只有这样一个事实,在不同的年代、不同的国家、不同的学者已经客观地、独立地着手研究显生宙史上这样和那样一些重大地质生物事件。

典型重大地质生物事件的特征是:浮游植物首先是(兰门藻)繁殖率高异常;富含有机质、铀和其它重金属的海相放射性页岩在世界许多地区形成;海相、湖相和陆相冲积沉积物中工业铀聚集的形成;不同类型包括岩浆岩成因和热水成因的工业铀矿大量形成;构造板块运动活跃;地幔玄武岩大量进入海洋和洋中脊升高,海平面上升;玄武岩在陆上的大量喷发;宇宙星体撞击造成地表火山口的大量形成。上列作用发生的同时,主要是异常的强放射性环境,铀的残余物和其它重金属的诱发作用以及营养物质(P、N、CO₂)的大量产生,于是在生物圈出现了相应的反应,诸如浮游植物(首先是兰门藻)的大量繁殖、高度组织性动物种群生命活动在生物大量死亡环境下受到抑制、活的自然组合暂时贫乏等,之后则是生物新种属的产生。

4 显生宙重大地质生物事件的周期系统

描述了上述3个银河年内出现的重大地质生物事件及其特征和周期之后,我们再来对比分析一下显生宙的全部重大地质及生物事件的周期系统。

据以上所述,可将显生宙分为3个大的时期,其中的两个时期业已结束并分别持续了2.16~2.17亿年,该时间跨度与太阳绕银心旋转时间相吻合。第Ⅲ银河年到目前为止已经存在了1.44亿年。

如前所述,第Ⅰ银河年与文德纪和寒武纪分界的重大生物事件相对应,这也是地史上最先出现骨骼动物的时代,其间,含高丰度铀的海相黑色页岩的沉积作用出现。

第Ⅰ银河年末到第Ⅱ银河年初对应了众所周知的发生于晚泥盆世和石炭纪分界处的一次大的生物事件。该事件同样伴随有全球性浮游生物的大量繁衍、放射性黑色页岩的形成、沉积物中铀的聚积、工业铀矿的大量形成、构造板块运动活跃和海侵等。

第Ⅱ银河年末到第Ⅲ银河年初对应于侏罗纪和白垩纪交界处的一

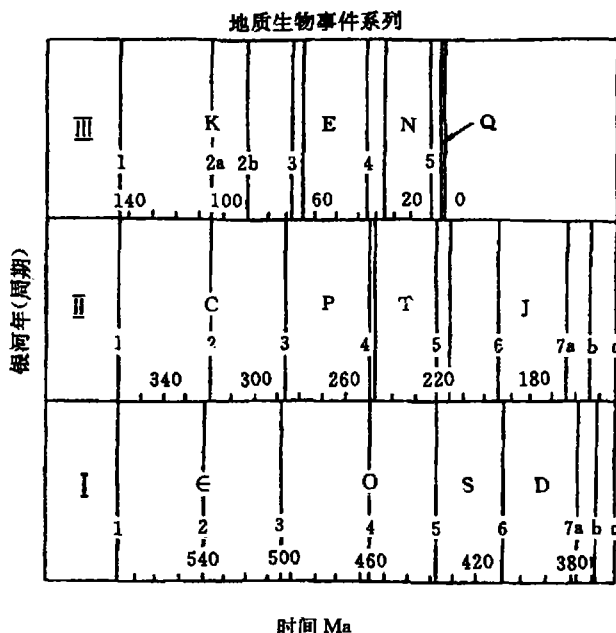


图7 重大地质生物事件的稳定周期性

次大的生物事件。该事件同样具有浮游植物大量繁衍、世界许多地区的海相放射性黑色页岩聚积、铀聚积、工业铀矿大量形成、陆上玄武岩大量喷发、构造板块运动活跃、地幔玄武岩进入海洋等特征,除此还有大量撞击火山口的形成。

在每一银河年期间内曾不止一次地发生不同强度的类似事件。

这种“快速”的生物危机的持续时间从1~3 Ma 到若干Ma(10 Ma 以内),故而这种危机同宇宙星体的瞬时撞击作用有关是不大可能的。

除了异常强放射性环境对生物圈的影响外,出现在这一时期的其它因素。如强烈的玄武岩火山作用、海平面变化和气候变化等当然也有影响意义,然而,我们认为其他因素的影响毕竟不是决定性的。

显生宙重大地质生物事件周期系统的特征示于表1。表中地质生物事件的发生年代据参考文献[31]。

关于“阶”(期)的确定,我们采用了谢普科斯基之资料。

黑色页岩年龄的精确度一般不超过“阶”。因此,例如对于持续了若干Ma 的晚白垩世事件来说,确定其为平均年龄(69 Ma),而未采用事件结束时即K—T 分界处之年龄(65 Ma)。

铀矿年龄按铀矿石的绝对年龄确定,较少地按沉积铀矿床围岩沉积岩的年龄确定。综合各种资料认为其时间间隔为10 Ma。

表1 显生宙重大地质生物周期系统

II	事件号	1		2a	2b	3		4		5					33.5	平均 周期 Ma		
	时间, Ma	144		105	91	69		38		10								
	年事件间隔 Ma		39		14+22 36		31		28									
	I、II 年事件间隔 Ma	216		215		217		212		212							214.4	
I	事件号	1		2		3		4		5		6		7a	b		c	32.3 (1-7)
	时间, Ma	360		320		286		250		222		194		166	153		144	
	年事件间隔 Ma		40		34		36		28		28		28		13	9		
	I、I 年事件间隔 Ma	217		220		219		218		216		214		211	217	216	216.4	
I	事件号	1		2		3		4		5		6		7a	b	c	33.3 (1-7)	
	时间, Ma	577		540		505		468		438		408		377	370	360		
	年事件间隔 Ma		37		35		37		30		30	31		7	10			
事件平均间隔 Ma			38.6		35		34.6		28.6		29		29.5		10	9.5	32.5 (1-7)	

撞击火山口出现的时间间隔据参考文献[10]和[16],综合确定为8 Ma。

玄武岩喷发出现的时间按玄武岩的绝对年龄确定。

在第I 银河年期间出现了7 次这类地质生物事件,且在其最后一个事件,即年末发生的第7 次事件期间,先后一个接一个地出现了该事件的3 个阶段。

在地球及其生物圈不可逆转演化背景下,第II 银河年的重大事件实际上完全重复了第I 银河年的事件。在平均周期为32.3 Ma 时,各事件时间间隔变化在40~28 Ma。而且最大时间间隔事件(40~37 Ma)均出现在第I 银河年和第II 银河年之初,之后事件便缩短了时间间隔(30~28 Ma),而两个第7 次事件的最后一个阶段(I—7c 和 II—7c)与上一阶段

(I—7b 和 II—7b)的时间间隔分别为 7~10 Ma 和 9~13 Ma。

地球及其生物圈演化的不可逆性同样表现尚未结束的第 III 个银河年,该年内已出现了 5 次大的地质生物事件,其几乎是完完全全重复前两个银河年的同类事件。区别仅在于第三年的第 2 事件是其第 1 事件第 2 阶段之后 14 Ma 出现的(前两年为第 3 阶段之后出现的)。这一现象前两银河年尚未遇到。在事件平均周期为 33.5 Ma 时,第 III 银河年重大事件之间的时间间隔变化在 39~28 Ma。最大间隔为 39 Ma,同上两年一样,该间隔出现在该年年初。

在年平均值为 216.4 Ma 时,第 I 和第 II 年的同次同阶段重大事件的时间间隔为 211~220 Ma,多数为 216~218 Ma,也就是说第 II 年的同次同阶段事件是经过了整整一个银河年才出现的(从上一同次同阶段事件末算起)。

同样,在第 II 和第 III 银年,两个同阶段事件出现的时间间隔分别为 3.28 亿年和 4.36 亿年,平均为 4.324 亿年,也即 $2.162 \text{ 亿年} \times 2$ 等于两年银河年的长度。

这样,重大地质生物事件周期系统就包括持续 2.16 亿年~2.17 亿年的大周期(银河年)和出现周期约为 33Ma 的相同地质生物事件的垂直系列,后一个银河年的每一事件与前一银河年每一事件分别对应相隔 2.16 亿年到 2.17 亿年再次出现,也就是说恰恰过一个银河年再梅开二度。

尽管在计算地层学分层和铀矿石年龄,和计算玄武岩喷发年龄上出现客观存在的不精确性和系统误差,也尽管用总结的经验资料解决黑色页岩在地质年代地层表上的位置问题存在误差,还有计算动物群大量灭绝的地质年代误差等,但是,上面总结的关于地史上显生宙在差不多 6 亿年期间所发生的重大地质生物事件周期性系统的正确性都会使人大吃一惊。

于是就产生了一种观点,地球及其生物圈就是一个很复杂的自我调节的宇宙系统,在遵循某种严格的韵律的同时,存在着,发育着。

的确,大的地质生物事件均与这一韵律性能十分很好地合拍,并周期性地出现在宇宙环境下。像计量地球绕太阳旋转时间的地球年一样,太阳系的银河年也是用来计量太阳系沿椭圆形轨道绕银心的旋转时间的。根据参考文献[19,20]的天文学资料,一个银河年等于 2.12 亿年。而根据周期性地球事件的绝对地质年代计算,则为 2.16~2.17 亿年。

A. A. 什皮塔尔,Ю. A. 扎科尔达耶夫和 A. A. 叶菲莫夫的地质年系表和发生在地球上周期性事件系统,可以看作是太阳系银河轨道的正确地反映^[35]。

该三人认为,长的地质周期(70 Ma 左右)(?,C,K)与太阳系在远银部位运动有关,并以最小的轨道速度(220 km/s)。而 30 Ma 的短地质周期的(S,T,N)则与太阳系在近银部位运动有关,且太阳以最大的轨道速度(317 km/s)运动。

当太阳系轨道速度与银河系运动的绝对速度(等于宇宙微波无线电辐射速度)合成时,太阳运动的绝对速度在椭圆形轨道上则出现极大的变化,并达到远银点的最大速(800 km/s)和近银点的最小速(400 km/s)。

根据参考文献[15],太阳运动绝对速度的周期性变化可引起太阳系星体物质的周期性变化,并引起这些星体以同样的周期幅度出现脉动;其结果,太阳在银尖变热,在银周变冷,并因此出现了沿轨道运动的银河年“四季”。在远银点为“夏季”,在近银点为“冬季”,介于二者之间的则为“春”与“秋”季。

大多数地球冰山事件确实发生在太阳绝对速度降低的“秋—冬季”(例如奥陶纪—志留纪初、二叠纪末—三叠纪初的冰川作用、古新世、晚第三纪和晚侏罗世的冰事件)。(图7)与此“秋—冬季”相反的则是大量碳形成和聚集的“季节”,在第Ⅱ、Ⅲ银河年里形成了超过全球70%的煤储量。在第Ⅰ银河年,实际上并无碳的形成和聚集,因为当时尚无地球植物。地球植物包括第一批煤首次出现于晚泥盆世,即上述的“春”末—“夏”初。

前已说明,在每一银河年期间约每隔33Ma出现短期重大地质生物事件。7次这类重大事件将一个银河年按30Ma分成6个阶段,即6个“银河月”。不论从地质作用看,还是从生物作用看,“银河月”都是个相当稳定的过程。

这样,在银河年的大部时间内地壳及生物圈都是平稳演化的,打破了每30Ma的平静之后则出现发育上的重大事件和飞跃。地球及其生物圈发育过程中重大事件出现的正确周期,包括银河年的长度,毫无疑问受控于宇宙的影响。这就不难理解,除了个别情况以外,为什么大部分地质生物事件的发生都伴有因宇宙星体撞击地球而造成的大量撞击火山口的出现^[16]。

我们认为,地球上发生的重大事件最可能的宇宙原因是银河系面上的太阳系与浓缩物质(由太阳在银星周围轨道上每隔 $33 \pm 3\text{Ma}$ 运动时太阳垂直振荡所产生)正交的结果^[9]。

但是我们觉得Л. Б. 阿里瓦列斯关于宇宙直接地、瞬时地撞击地球生物圈的机理是完全无根据的。生物的大量灭绝不是瞬时发生的,对于各动、植物种群来说也不是同时发生的,而是在一个完全能感觉到的时间过程进行的,最长可达1~3Ma。此外,生物的大量灭绝也只是生物事件本身的一个方面。应当注意的是它的另一个方面即生物大量灭绝之后紧接着迅速出现许多新的动植物种属。这并不是撞击和宇宙大爆炸的结果。

显然,在生物事件出现方面,宇宙的作用是间接的。周期性出现的宇宙事件激活了地球动力作用、岩石圈板块漂移、深部玄武岩在陆地和海洋的岩浆作用等。与此伴随的有:铀的剩余物质和其它具有诱变作用的重金属大量进入生物圈;磷、氮、二氧化碳和许多微量元素(包括钼和铷等)大量过剩。

在广阔的海洋空间内(达 $1 \sim 2 \text{ Mkm}^2$)分布有含铀放射性沉积物,在陆地、湖泊、河流和冲积沉积物中形成了大量沉积铀聚集,各种类型的工业铀矿,包括岩浆成因和水热成因铀矿出现率增大,全球放射性环境增强。

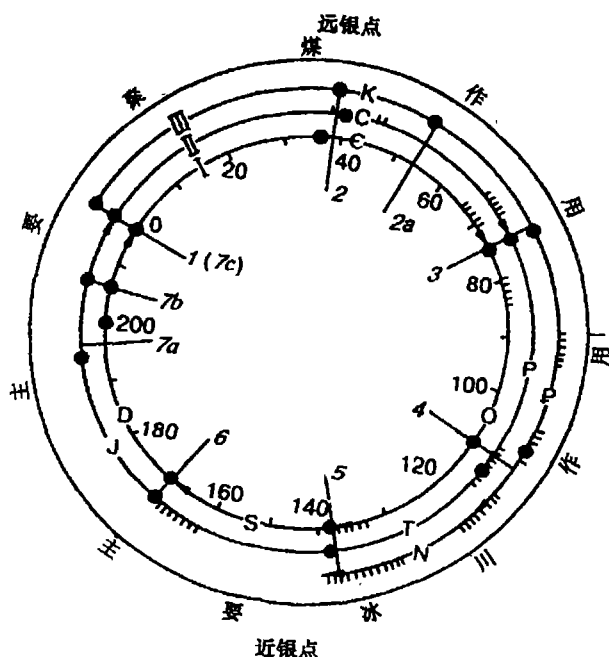


图7 出现在银心周围太阳系轨道上的地质生物事件

1. 银河年; 2. 重大事件; 3. 冰川事件

生物圈的反应是:生物繁殖骤然升高——浮游生物(主要是兰门藻)茂盛,铀的聚积活跃并在海水中中和海底死亡机体内逐渐出现过剩(在海底形成了富含浮游生物成因有机质的放射性“黑色页岩”沉积物,在自然水中出现了从未有过的无氧即硫化氢条件并对底栖生物机体产生了补充应力压力)。

著名浮游生物专家 Tappn H. 指出,在应力条件下的生态系统生存的生物带有很大的变异性(首先是兰门藻)。参考文献〔37〕就介绍了兰门藻在黑色页岩有机质中的急速演化。А. 3. 康塔洛维奇以西西伯利亚巴热诺组为例清楚地阐述了有机质在放射性黑色页中聚积的最大速度。

海洋和陆地上的高异常放射性生存环境引起了全球性诱变作用的突发,该诱变作用就是在当时存活生物的大量灭绝和新的动植物种属产生过程中进行的。

强火山作用向大气排放大量二氧化碳、卤素、硫、灰尘。伴随火山爆发还有海平面和气候的变化等。当然火山作用的同时贡献是引起生物圈危机。但与强放射性环境作用(主要诱因)相比,火山作用的贡献是很弱的。

最后应当指出,引起重大地质生物事件的原因今后还应继续探讨。但是以全球地质—地球化学和古生物资料为基础查明的地质生物事件周期系统出现的任何原因,都不应当受到怀疑,尽管这些原因在今后的研究中需要进一步明确。

主 要 参 考 文 献

- 1 Неручев С. Г. Эпохи интенсивного накопления планктона в истории Земли и их причины. Микрофоссилии протерозоя и раннего палеозоя. Л.: Наука, 1974, 38~48.
- 2 Неручев С. Г. Эпохи радиоактивности в истории Земли и развитие в истории Земли и развитие биосферы. Геология и геофизика, 1976, (2), 3~13.
- 3 Неручев С. Г. Уран и Жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982, 206 с.
- 4 Поликарпов Г. Г. Радиэкология морганизмов. М.: Атомиздат, 1964, 295.
- 5 Батурин Г. Н. Уран в современном морском осадконакоплении. М.: Атомиздат, 1975, 151.
- 6 Raup D M. Sepkoski J J. Periodicity of extinctions in the geologic past. Proceedings National Acad. Sci., USA, 1984, 81, (3): 801~805.
- 7 Raup D M. Sepkoski J J, Stigler S M. Mass extinctions in the fossil record. Science, 1983, 219, :1240~1241.
- 8 Sepkoski J J. Global bioevents and the question of periodicity. Global bioevents. Berlin, Springer. Verlag, 1986, 47~61.
- 9 Sepkoski J J. The taxonomic structure of periodic extinction. Global Catastrophes in Earth History. Geol. Soc. Amer. Sp. Pap., 1990, (247): 33~44.
- 10 Кауфман Э. Дж. Структура вымираний морских биот в меловом периоде. Катастрофы и история Земли. М.: Мир, 1986, 156~254.
- 11 Alvares L M. Extraterrestrial cause for the Cretaceous—Tertiary extinction. Science, 1980, 208, (4): 44~48.
- 12 Zeller W H, Parrington J R, Kotra J P. Iridium enrichment in airborne particles from Kilauea volcano, January 1983. Science, 1983, 222, 118~1121.
- 13 Keller G, Barrera E. Cretaceous/Tertiary boundary impact hypothesis and the paleontological record. Global Catastrophes in Earth History. Geol. Soc. Amer. Sp. Pap., 1990, 247, 563~576.
- 14 Orth CJ, Attrep J, Quintana L R. Iridium abundance patterns across bioevent horizons in the fossil record. Ibid., 45~60.
- 15 McCartney R, Huffman A P, Tredors M et al. A paradigm for endogenous caution off mass extinctions. Ibid., 125~133.
- 16 Stoters R B, Rampino M R. Periodicity in flood basalts, mass extinctions and impacts. Ibid., 9~18.
- 17 Захаров В. А. Иридиевая аномалия на границе юры и мела на севере Сибири. Геол. и геофизика, 1993, 34(1): 102~109.

- 18 Rampino M R, Stoters R B. Terrestrial mass extinction, cometary impacts, and the Sun's motion perpendicular to the galactic plane. *Nature*, 1984, 308, 709~712.
- 19 Паренго П П. О гравитационном потенциале Галактики 1. *Астрономический журнал*, 1950, (6): 329~340.
- 20 Паренго П П. О гравитационном потенциале Галактики 2. *Астрономический журнал*, 1952(3): 245~287.
- 21 Харленд У Б, Кокс А В, Алевеллин П Т. Шкала геологического времени. М.: Мир, 1985, 139.
- 22 Заколдаев Ю А. Глобальная геохронометрическая шкала Фанерозоя с астрономических позиций; Автореф. дис. — докт. геол.-мин. наук. СПб, 1992, 31.
- 23 Montanari A. Geochronology of the terminal Eocene impacts. An update. *Global Catastrophes in Earth History. Geol. Soc. Amer. Sp. Pap.*, 1996, 247, 607~616.
- 24 J. Kriest. Shell. Plate Tectonic Atlas. *Exploration Bulletin* 1991, 258(5).
- 25 Казанский В Н, Лаверов Н П. Эволюция уранового рудообразования. М.: Недра, 1978, 208.
- 26 Лаверов Н П, Смирнов А О. Зарубежные месторождения урана. М.: Недра, 1983, 320.
- 27 Лаверов Н П, Рыбалов Б Л, Величкин В. И. Основы прогноза урановых провинций и районов. М.: Недра, 1986, 204.
- 28 Металлогения урана континентальных блоков земной коры. Л.: Недра, 1980, 256.
- 29 Образование месторождений урана. М.: Мир, 1976, 204.
- 30 Formation of uranium ore deposits. *Proc. of a Symposium organized by the Intern. Atomic Energy Agency and held in Athens, Greece, 6—10 May, 1974. Vienne*, 1974, 748.
- 31 Lee M J, Brookins D G. Rubidium/strontium minimum ages of sedimentation, uranium mineralization, and Provenance, Morrison Formation, Grants Mineral Belt, New Mexico. *Bull. AAPG*, 1978, 22, (9): 1673~1683.
- 32 Rich A A, Holland H D, Petersen U. Hydrothermal uranium deposits. *Amsterdam-Oxford—New York, Elsevier*, 1977, 264.
- 33 Robertson D S. Time/bond character of uranium deposits. *Econ. Geol.*, 1978, 73 (8): 1409~1419.
- 34 Hays J D, Pirman W C. Lithospheric Plate Motion, Sea level changes and climatic and Ecological Consequences//*Nature*, 1973, 246, (5427): 18~22.
- 35 Шпитальня А А, Заколдаев Ю А. Проблема времени в геологии и звездной астрономии. Проблемы пространства и времени в современном естествознании. Л.: 1991, 95~106.
- 36 Tappan H, Loeblich A. Geobiologic implications of fossil phytoplankton evolution and time space distribution. *Geol. Soc. Amer. Sp. Pap.*, 1970, (127): 247~340.
- 37 Паргварова Г М, Жукова А В. Углететрографические методы в изучении осадочных пород и полезных ископаемых. Л.: Недра, 1990, 308.
- 38 Конторович А Э. Закономерности накопления органического вещества в древних осадочных толщах (на примере мезозойских отложений Сибири). *Литоология и полезные ископаемые*, 1971, (6): 16~27.

史斗 据 *Геология и геофизика*, 1999, 40(4): 493~511 译, 部分段落有调整并加了小标题。