

扬子地台前寒武-寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用

范德廉 叶杰

(中国科学院地质研究所)

杨瑞英 黄忠祥

(中国科学院高能物理研究所)

内容提要 详细研究了扬子地台6个前寒武-寒武纪界线附近的黑色岩系剖面。选择67个标本做仪器中子活化分析并在17个样品内发现铀异常,认为它是稀罕事件的反映。其特点是地理分布广、地外物质断续供给时间长。这很可能是太阳系进入银河系星际物质密集区而引起的慧星雨,它不仅提供了宇宙物质,而且造成了缺氧环境,从而使铀异常与缺氧事件交织在一起。更重要的是许多沉积及沉积-成岩矿床(石煤、钒、钼、铀、镍钼等)与这两个地质事件紧密相关。

主题词 黑色岩系 镍钼多元素层 铀异常 稀罕事件 缺氧事件 缺氧环境成矿

第一作者简介 范德廉 女 54岁 研究员 沉积学,沉积矿床,地球化学

铀异常、稀罕事件和缺氧事件是目前国际地质界讨论十分热烈的前沿课题。自1980年美国阿尔弗雷斯等报道了白垩-第三纪界线粘土中铀异常的发现后,在世界许多地方的海相和陆相白垩-第三纪界线粘土中均发现了铀异常,从而掀起了对稀罕事件研究的热潮。继之引起探讨二叠-三叠纪界线层中可能的铀异常和碳氧同位素异常研究的广泛兴趣。但对前寒武-寒武纪这个重要的地质转折期内铀异常的研究却鲜见报道。

对地史上的缺氧事件的研究工作,在70年代中期开始在国外逐步多了起来,开展了对白垩纪大洋缺氧事件与碳氢化合物的研究,并于1980年26届地质大会期间举行了“白垩纪富有机碳相的性质和成因”讨论会。1979年曾在英国召开了黑色页岩国际讨论会,涉及了白垩纪和下古生代的缺氧事件。但总的来说这方面的工作还是很不够的,特别是更古老的缺氧事件的研究及其与矿产资源的关系研究。

本文着重讨论古老地质时代(前寒武-寒武纪转折期内)所发生的与地外因素有关的两个地质事件——铀异常事件和缺氧事件及其与沉积矿床成矿作用的关系。

本工作是在叶连俊教授热情帮助和指导下进行的。作者愿以此文作为庆祝叶连俊教授从事地质工作50周年的小小献礼。

一、铀异常与稀罕事件

(一) 铀异常的发现

1982年笔者用仪器中子活化分析首次在湘、黔、浙等地下寒武统底部的镍钼多元素层中发现了铀异常(11—31ppb)。经中国科学院原子能研究所用同样分析方法和中国地质科学研究院岩矿测试研究所用催化比色法进行验证后,于1983年做了报道^[3]。继

之对贵州大院剖面进行系统研究，其结果于1984年向27届国际地质大会做了报道〔4〕。

为深入地研究铱异常的特点，笔者又系统地在扬子地台采集了前寒武-寒武纪界线附近的黑色岩系剖面及其中的岩石、矿石（图1）样品。并采用分层取样的方法，在反光显微镜下从镍钼多元素层中分别取出以镍为主、以钼为主和以铁为主的三个分层样品；对结核与围岩也分别取样。在6个系统剖面中共选择67个标本做仪器中子活化分析，并在17个样品内发现了铱异常。

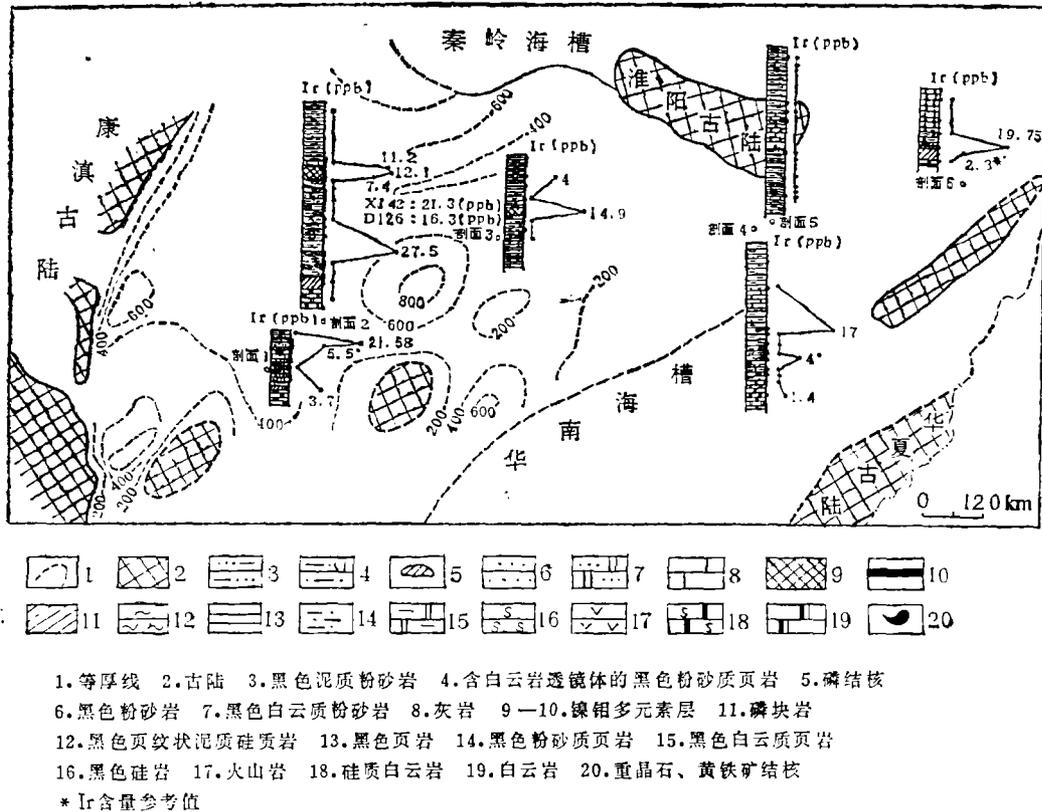


图1 扬子地台下寒武统黑色岩系中铱异常的分布

Fig.1 Distribution of the iridium anomaly in black shale series of Lower Cambrian in Yangtze Platform

(二) 铱异常的分布

1. 铱异常在系统剖面内的分布

图1反映了铱异常的纵、横分布。剖面1是贵州大院剖面，铱异常出现于磷块岩、黑色白云质粉砂岩及镍钼多元素层中。异常的最高层位距灯影白云岩顶部垂向距离5米左右，最低层位0.2米，两者相距4.8米。剖面2是贵州新土沟剖面，铱的高含量发现于下部磷结核密集层内的磷结核中以及镍钼多元素层的三个分层样品中。异常最高层位距灯影白云岩顶部1.06米，而磷结核距其0.3米，两者相距0.7米左右。剖面3是湖南天门山剖面，铱异常分布于镍钼多元素层及其上的黑色条纹状泥质硅质岩中，两者相距近1米；与灯影白云

岩的距离则分别为1.16米及2.2米。在本区另二个剖面的镍钼多元素层中铀含量为16.3 ppb及21.3 ppb, 而与其下磷块岩的距离分别为0.3米及1.4米。剖面4是江西杨林山剖面, 总厚达88米, 代表了较完整的下寒武统下组——王音铺组。在硅岩、磷结核及重晶石-黄铁矿结核中均有铀的高含量, 硅岩距灯影白云岩顶部约9米。剖面5是江西南山剖面, 15个仪器中子活化分析中未发现铀的高含量。剖面6是浙江江龙剖面, 铀异常见于磷块岩及镍钼多元素层中, 距灯影白云岩顶部分别为0.3米和0.65米, 二者相距0.35米。

综上所述, 铀异常的分布十分广泛。在剖面上主要出现于距灯影白云岩顶部5米之内, 一般为1—2米; 在地层上并出现于不同的层位内。在横向上自贵州大院剖面至浙江江龙剖面断续延伸达1600公里, 覆盖近百万平方公里。最近张勤文等^[1]在昆阳梅树村八道湾黑色页岩中发现近0.5 ppb的铀异常, 看来铀异常的分布还会更广。

2. 铀异常在两种岩性序列内的分布

据笔者对下寒武统底部黑色岩系岩类组合、矿物组合、元素组合的研究, 将其分为两种岩性序列类型^[2]。

I 类型 自下而上为: 磷块岩→含磷结核黑色页岩→镍钼多元素层→黑色条纹状泥质硅质岩→黑色含碳水云母页岩。黔、湘、浙剖面基本属此类型(图1剖面1、2、3、6)。元素组合为复杂多元素组合型, 高含量的微量元素达30余种。铁、镍、钼主要为硫化物及硫砷化物, 矿石构造以“碎屑状”为主, 少数呈细纹层状。这种类型岩性序列中铀异常出现几率大(30个标本中有13个异常), 且主要集中于镍钼多元素层中, 铀含量较高(7—31 ppb)。

II 类型 与I类型对应, 自下而上为: 黑色硅岩(有时含磷)→黑色页岩(常含磷质、重晶石、黄铁矿小结核)及钒矿→黑色页岩间夹黑色碳酸盐岩。剖面内时而可见少量火山岩。湘东、江西等地多属此类型(图1剖面4、5)。元素组合较简单, 以钒-钼组合为主。铀异常出现几率小(24个样品中仅有3个异常), 且主要集中于结核中。

两种不同的岩性序列反映了不同的沉积环境和条件。I类型自磷块岩开始即代表了水动力条件较强、较为氧化的陆棚浅水环境, 并逐步向较深水的还原环境过渡。II类型则以黑色硅岩和含磷硅质岩开始, 反映了水动力条件较弱的、较深水的还原环境。两类均代表了海侵序列并反映了从初期较氧化环境向大区域内的还原环境的转化。尽管如此, 两种不同的岩性序列内均发现铀异常。

3. 不同岩石、矿石内的铀异常(与2、4对应)

铀的高含量见于7种岩石、矿石内(表1)。应当特别指出的是镍钼硫化物层、磷结核和重晶石-黄铁矿结核中, 铀的含量有时相当高。这不仅说明了铀元素比较强的亲硫性(在铁呈二价状态存在时), 而且说明在有机质存在的还原条件下, 铀在成岩作用早期可以迁移, 并富集于结核内, 这是铀在成岩过程中的重要的地球化学行为。

4. 镍钼多元素层及白垩-第三纪界线层中铂族及金、镍、钴元素的对比。

表2列入了黔、湘、浙镍钼多元素层、丹麦白垩-第三纪界线层、哥伦比亚河玄武岩及C₁球粒陨石中这些元素的含量^[5]。

对比发现, 镍钼多元素层中的铀含量比哥伦比亚河玄武岩中的高4个数量级, 钒、钼、镍高3个数量级, 只有钴与之较接近。镍钼多元素层中的镍、金、钯、钨的含量也

表1 不同岩矿内的铱含量

Table 1 Iridium content in different ores and rocks

岩矿名称	Ir含量(ppb)	标本数量
镍钼多元素层	7—31	9
磷块岩	2.3*—3.7	2
黑色白云质粉砂岩	5.5*	1
黑色条带状泥质硅质岩	4.0	1
黑色硅岩	1.4	1
磷结核	4*—27.5	2
重晶石-黄铁矿结核	17.0	1

表2 镍钼多元素层、白垩-第三纪界线粘土、玄武岩及C₁球粒陨石中贵金属含量Table 2 Abundance of noble metals in Ni-Mo polyelement layers, Cretaceous-Tertiary boundary clay, basalt and C₁ chondrite

	ppb						ppm	
	Ir	Os	Pt	Pd	Ru	Au	Ni	Co
1	18.13	190	200	250	4	210	31500	54
2	47 ± 9	49 ± 1	24 ± 5	45 ± 8	37 ± 23	8.8 ± 0.2	310 ± 45	38 ± 1
3	0.0011 —0.012	≤0.01	—	≤0.02	—	0.3—10.3	7.0—10	2 ^a —33
4	514	480	900	460	690	152	19300	483

1. 湘、黔、浙镍钼多元素层

2. 丹麦的白垩-第三纪界线粘土(样品4)

3. 哥伦比亚河玄武岩

4. C₁球粒陨石

2—4取自R. Ganapathy(1980)

比界线粘土层中的高很多。

但是,当把镍钼多元素层和界线粘土层中的上述元素与C₁球粒陨石进行对比时,则发现界线粘土中这些元素的丰度模式与C₁球粒陨石基本一致,表现为平缓的分布(图2)。镍钼多元素层中铂、钯、铱的丰度模式与C₁球粒陨石也基本一致,只有铱具有明显的亏损,而金、镍明显增高。

磷结核及重晶石-黄铁矿结核中铱的高含量(表1)说明在成岩过程中铱可能比其它铂族元素更易于迁移并富集于结核内,尤其是在还原环境和较多腐泥质存在的情况下。众所周知,辉钼矿是富铱的矿物,其中富集了铱、铂、钯。而在镍钼多元素层中钼含量很高并以硫化钼形式产出,其中铱含量为15ppm。因此,可能有部分铱是铀衰变的产物。因之,铱在成岩过程中的迁移和铱、铂、钯在硫钼矿中的富集就可能成为镍钼多元素层中铱亏损的原因。所以,铱的相对亏损并不能成为其非地外来源的佐证。至于金与镍的高

含量，也许是因为它们具有不止一个物质来源（地外来源）的缘故。

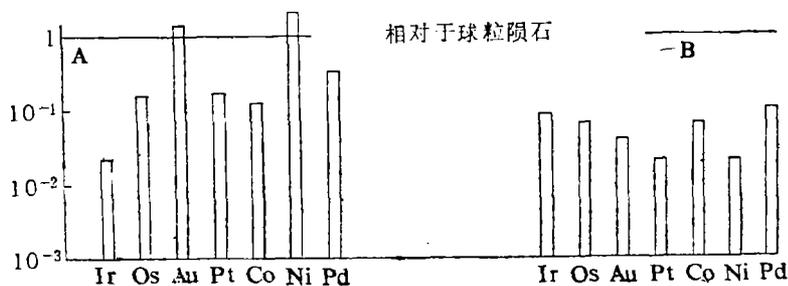


图2 贵金属等元素在镍钼多元素层(A)及白垩-第三纪界线粘土(B)中的丰度(相对于C₁球粒陨石)

Fig. 2 Abundance of noble metals in Ni-Mo polyelement layers (A) and Cretaceous-Tertiary boundary clay (B) (relative to C₁ chondrite)

(三) 铱异常与稀罕事件

综上所述，可以看出前寒武-寒武纪界线附近的铱异常在时间上、空间上、不同岩矿和不同岩性序列中均有发现，说明铱的富集与局部的环境因素关系不大。镍钼多元素层中铂族及金、镍、钴的含量大大超过哥伦比亚河玄武岩，而其丰度曲线更接近于C₁球粒陨石。许靖华、孙枢等^[6]在前寒武-寒武纪界线的碳酸盐岩中发现 $\delta^{13}\text{C}$ 负异常，与笔者的铱异常结合而组成了Ir- $\delta^{13}\text{C}$ 双异常。这些事实使笔者认为扬子地台区前寒武-寒武纪界线附近所发现的铱异常是一个与地外因素有关的稀罕事件的反映。

二、黑色岩系中的多元素地球化学异常

黑色岩系中富集了30多种微量元素，如铂族、贵金属、铁组、稀有、稀土、分散、放射性及亲铜元素等。下面以贵州新土沟剖面为主简述其特点。

所研究的新土沟剖面为牛蹄塘组最底部厚1.56米的岩层，标本采自坑道内。共作16个仪器中子活化分析，其结果绘制成图3、4、5、6。图版I-1是坑道内镍钼多元素层(G_x115)及其下磷质透镜体(G_x114)和其上黑色粉砂质页岩(G_x116)的地质产状。图版I-2是一块完整的镍钼多元素矿石标本，它由下部7厘米厚的“碎屑状”硫化物层和上部1厘米厚的粗晶灰岩组成。笔者在反光显微镜下采取了这块矿石的四个分层样品，即镍硫化物为主的(A₁-a)、钼硫化物为主的(A₁-b)、铁硫化物为主的(A₁-c)和灰岩(A₂)。这些样品及其上下围岩的仪器中子活化分析结果列入表3内。这些分析数据证实了分层取样的准确性。

(一) 铂族及贵金属

铂族及金主要富集于镍钼多元素层中，黔、湘、浙9个样品的平均含量见表2。在一个矿石样品中曾测到铈为12ppb。铂、钯、金的正相关关系已由数理统计所证实。在各类黑色页岩及石煤层中铂平均为15ppb，钯为30ppb；在磷块岩中则分别为6.5ppb及

表3 新土沟剖面镍钼多元素层及其上下围岩中微量元素含量

Table 3 Trace element content (ppm) in Ni-Mo polyelement layer and its adjoining rock in Xintugou section

标本号	Ir(ppb)	ppm							
		Ni	Mo	Zn	As	Se	Sb	Co	Au
Gx116	—	1880	—	1160	236	22	7	19	0.02
Gx115A-2	—	17000	—	2210	1878	562	127	77	0.09
Gx115A-1a	11.2	72960	3705	1790	32800	1970	373	290	0.09
Gx115A-1b	12.1	19600	6530	3280	18700	1963	167	190	0.36
Gx115A-1c	14.8	10130	1750	1738	11300	1505	485	43	0.48
Gx114	—	670	517	424	273	33	8	13	0.003

30ppb; 反映了钼大于钨的趋势^[3]。

笔者应当特别提出的是用仪器中子活化分析法在某些剖面 and 岩矿内发现了金的高含量, 如新土沟剖面镍钼多元素层的三个分层样品中金含量分别为0.36, 0.48, 0.69ppm (表3、图3)。七十年代初期, 笔者用化学分析方法在湘、黔地区8块镍钼多元素层中发现了金的异常含量(0.01—0.7ppm)^[3]; 并在重砂样品中找到一颗含银自然金^[3], 证实了金的一种存在形式。同时, 在个别磷块岩中(0.02ppm)和磷结核中(0.08ppm)也发现了金的高含量^[3]。有趣的是结核中的金异常说明了稳定元素金在有机质很多的情况下, 在成岩过程中可以进行迁移再富集。所以笔者认为应当系统地开展下寒武统及其它地质时代黑色岩系含金性的研究, 因为它可能是层控金矿的矿源层、胚胎矿, 甚至可能成为新型工业矿床。

(二) 铁组及钼、锌、砷

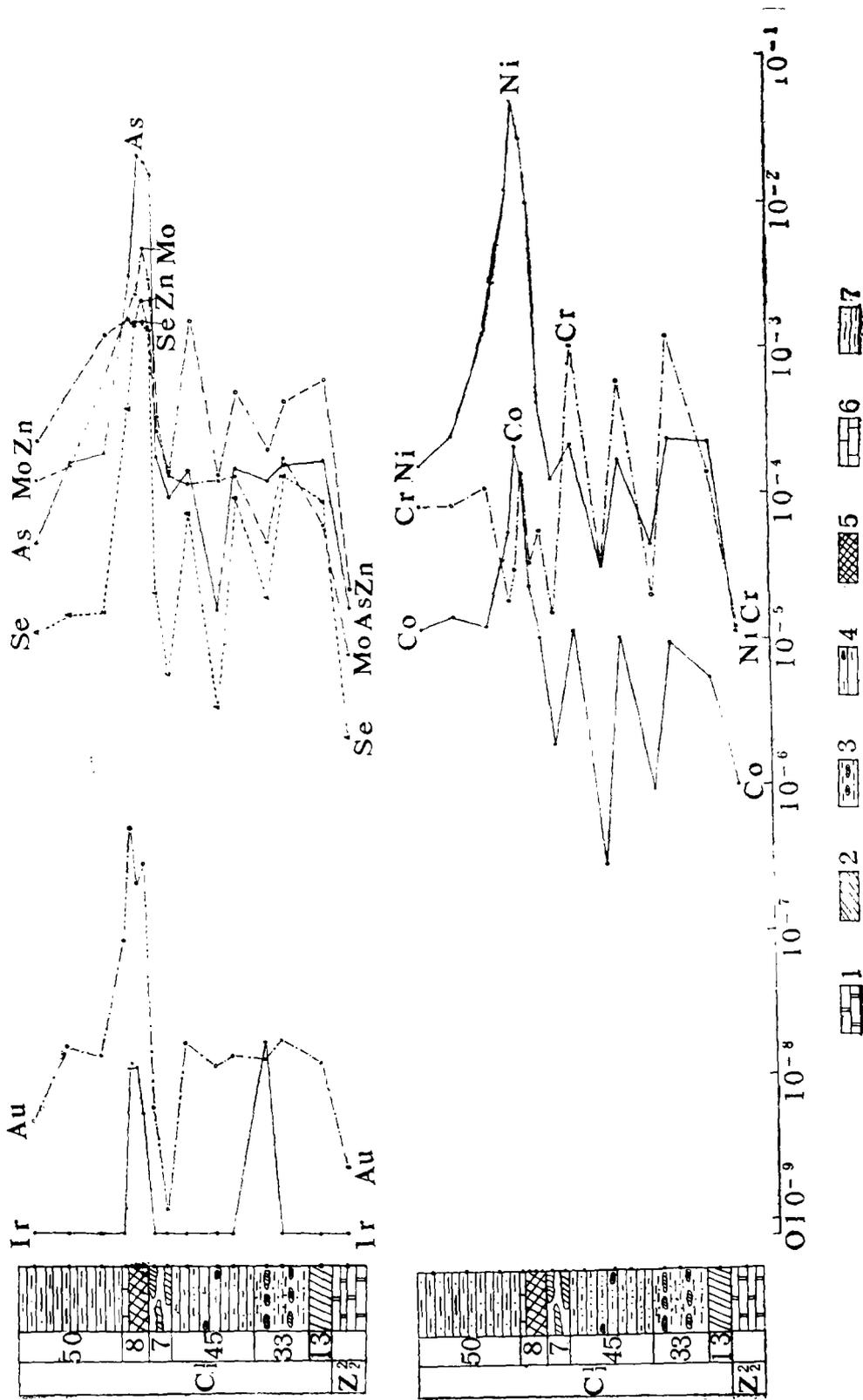
铁、镍、钴、钼、锌、砷及硒高度集中于镍钼多元素层中, 其变化趋势与铀基本一致; 只有铬显著地富集于黑色泥质粉砂岩及粉砂质页岩中, 表现了其明显的亲碎屑性(图3)。在下寒武统黑色岩系中上述元素主要形成镍钼多元素矿, 由于其距磷块岩极近, 不仅可以顺便开采, 而且可以综合利用, 它具有较大的潜在远景。

(三) 分散元素及放射性元素

分散元素也主要富集于镍钼多元素层中, 化学分析测定其含量为: Se 0.165—0.193%, Tl 0.042—0.051%, Re 0.0014—0.0016%。近年来用仪器中子活化分析测定的Se为0.157—0.197%, 与化学分析的结果是十分一致的。经研究Tl与黄铁矿关系密切。其它分散元素虽未进行深入研究, 但据报道在湖南某地镉已形成小型铀镉矿¹⁾。

SrO和BaO的含量变化并不完全一致(图4), 前者主要集中于镍钼多元素层、灰岩及磷质岩中, 主要以类质同象的形式存在于磷灰石、方解石及重晶石中; 后者主要呈单矿物——重晶石产出于黑色页岩及磷质岩中。地壳中铈、钡的含量超过球粒陨石的46—107倍, 而钡往往与海底火山活动、热泉、热卤水等有关, 从而在深大断裂带附近的

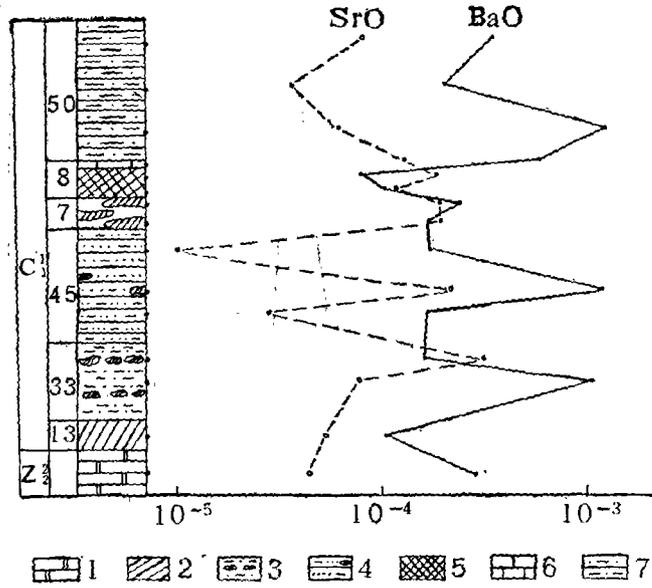
1) 湖南省地矿局418队, 1972年



1.白云岩 2.磷块岩 3.磷结核层 4.黑色泥质粉砂岩(含小磷结核) 5.煤相多元素层 6.灰岩 7.黑色粉砂质页岩

图3 新土沟剖面中铱及有关元素演化图

Fig. 3 Evolution of iridium and other elements in Xintugou section



1.白云岩 2.磷块岩 3.磷结核层 4.黑色粉砂质页岩(含小磷结核) 5.镍钼多元素层 6.灰层 7.黑色粉砂质页岩

图4 新土沟剖面SrO、BaO含量演化图

Fig. 4 Evolution of SrO and BaO in Xintugou section

下寒武统黑色岩系内有大型重晶石矿出现。

放射性元素铀与钍具有明显不同的地球化学行为(图5)。铀的最高含量达 10^{-4} ,

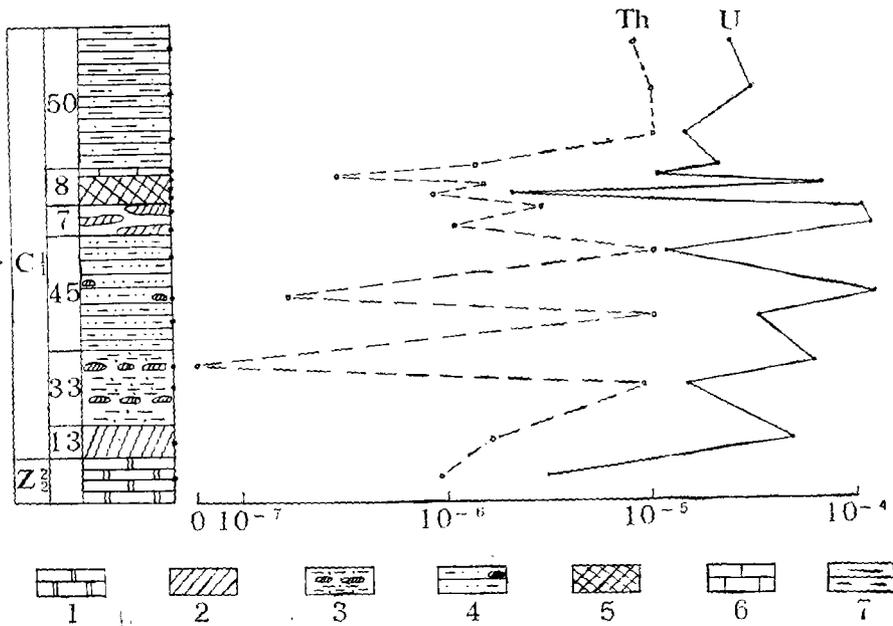


图5 新土沟剖面中铀、钍演化图(图注同图3)

Fig. 5 Evolution of U and Th in Xintugou section

注: 图3、4、5、6中的时代C₁应为C₂

明显地集中于磷质岩及镍钼多元素层中的磷质内碎屑中。据核乳胶照相资料, α 径迹主要与磷质岩中的有机质相关。由于铀的背景值较高又是地球化学活泼元素, 故在扬子地台许多地质、构造适宜的地方常可形成中小型铀矿。地壳中铀含量为球粒陨石的250—400倍, 它显然不是地外来源的。新土沟剖面中钍的最高含量为 10^{-5} , 主要集中于黑色页岩中; 与铀相反, 它在磷结核中的含量最低, 为 10^{-7} 。

(四) 稀土元素

用萃取色谱富集分离, 电感耦合高频等离子光谱法测定了新土沟剖面14块样品的15个稀土元素, 其变化规律十分清楚(图6)。按含量可分为三组: 一组是Ce、Y、La、Nd含量最高, 为 10^{-4} — 10^{-5} ; 二组是Pr、Sm、Gd、Dy、Er、Yb, 含量为 10^{-5} — 10^{-6} ; 第三组是Eu、Ho、Tb、Tm、Lu, 除Eu、Ho、Tb最高含量达 $2-4 \times 10^{-8}$ 外, 其余均低于 10^{-8} 。因此黑色页岩系以富含轻稀土为特点。稀土元素总量与分量的变化一致, 主要富集在镍钼多元素层、磷块岩及磷结核中(图6)。

(五) 黑色岩系中的多元素地球化学异常

早寒武世早期的黑色岩系中存在着一个十分复杂的、特殊的多元素地球化学异常。所富集的元素达30余种, 且大大超过其地壳克拉克值。许多地方形成大、中、小型矿床或矿化层, 因此早寒武世是一个重要的成矿期。

多元素具有复杂的来源, 铂族元素、钴、镍、金及部分铁等可能是地外来源的, 钍、钷、铈、钡、稀土(甚至可能小部分金与镍)则与陆源及海源(海底火山喷发、热卤水、热泉等)有关。这些多来源的复杂元素的共存并富集成矿, 主要是因为有一个缺氧的环境或从富氧到缺氧的转变环境, 它们不仅给多元素提供了充分海解的条件, 而且有利于多元素的聚集和保存。

三、黑色岩系和缺氧事件

黑色岩系是指含有机碳和黄铁矿较多的暗色的泥质岩¹⁾、硅岩、碳酸盐岩组合。其有机碳一般 $>1\%$ 或更多, 有机质类型多为腐泥型。因此, 黑色岩系是缺氧环境或缺氧事件的物质反映。

缺氧环境一般是指盆地水体中可溶氧的含量低于 0.1ml/l 的环境, 它限制了所有的多细胞生物的生存。在这种环境下只有微生物, 特别是硫酸盐还原细菌可以保存下来。缺氧环境有时在小范围内分布, 主要由局部因素引起。但当其分布十分广泛, 且由于重大的地质因素, 甚至全球性因素引起的, 则称为缺氧事件。如白垩纪的巴列米-阿普第一阿尔比期的黑色岩系具有全球性分布^[7], 又如不列颠群岛奥陶纪喀拉多克期及志留纪的兰达夫里期黑色岩系均被认为是与全球性海进脉动有关的缺氧事件造成的^[8]。

在我国, 早寒武世早期的黑色岩系广泛分布于南方各省、秦岭地区及新疆各地。在笔者研究的扬子地台区其分布近百万平方公里, 早寒武世早期的地层在各地不仅名称不

1) 这里的泥质岩(mudrock)是泛指粒径 $<0.063\text{mm}$ 的颗粒含量 $>50\%$ 的岩石, 即包括了粉砂岩、泥岩和粘土岩。

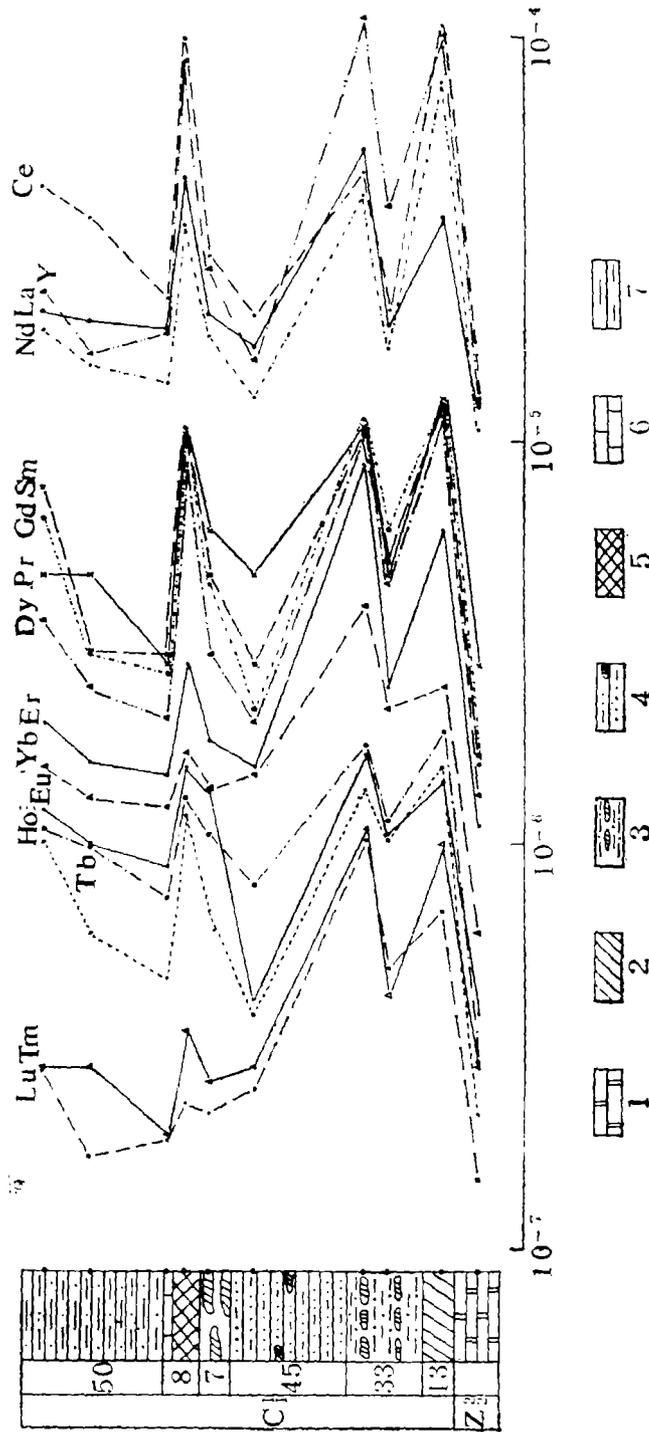


图6 新土沟剖面中稀土元素演化图 (图注同图3)

Fig. 6 Evolution of REE in Xintugou section

同而且在时代上也不完全相同。但大致相应的地层有牛蹄塘组、水井沱组、王音铺组、小烟沱(溪)组、荷塘组、筲竹寺组、大堰角组等。黑色岩系的厚度在不同地区内变化较大(50—300米),但一般为60—160米左右。

这些黑色岩系中C_{有机}平均为6.55%(304块样品),V/Cr值为6.97(213块样品)。黑色岩系的岩性序列以天门山剖面为例列入表4。可以看出,在磷块岩之上20米左右范围内黑色岩系中C_{有机}含量高,V/Cr比值较大;向上C_{有机}含量减少,相应地V/Cr比值也降低。据V/Cr值及煤岩学研究,有机质属腐泥型。在本区相当大的范围内形成了海相石煤及镍、钼、铁的硫化物层及巨大的钒、钼矿床。黑色岩系原生沉积构造为细纹层状和细条带状。岩石中除海锦骨针和古孢子外,未见其它底栖和浮游生物。

表4 天门山剖面牛蹄塘组岩性序列(自上而下)

Table 4 The sequence of Niutitang Formation in Tianmenshan section

	C _{有机} (%)	V/Cr	厚度(米)
(2) 把榔组 (E ₁ ²)			
灰色水云母页岩	0.54		
(1) 牛蹄塘组 (E ₁ ¹)			
3. 灰黑-黑色水云母页岩 (含碳酸盐透镜体)	1.15—3.3	3.1—8.3	35—40
2. 黑色白云质粉砂质页岩, 黑色泥质硅质岩和镍 钼多元素层	4.28—9.2 18.70—21.5	4.0—11.7	16—18
1. 磷块岩	0.67	1.3	0.07—0.13

黑色岩系与其上的钙质页岩、碳酸盐及其下的磷块岩和含小壳化石的白云岩基本上是连续沉积,但却反映了明显不同的沉积环境。磷块岩层与黑色岩系之间是一个沉积环境的转折点,并代表了海侵序列;前者代表了较氧化、水动力较强的环境,而后者却反映了缺氧的、弱的水动力条件。根据现代海洋沉积研究,磷结核形成于氧最低值边界区附近。下寒武统黑色岩系及磷结核的形成持续了较长的时间,并出现在广阔的地区内。因此,在巨厚碳酸盐层中出现的这套黑色岩系代表了一个大范围内环境的突变——海平面的突然上升。这种变化似乎不是区域性局部因素造成的,而是缺氧事件的反映。笔者初步认为这个缺氧事件是由地外因素引起的,它可能不是瞬间爆炸所致,而更可能是与太阳系进入银河系星际物质密集区而引起的慧星雨有关。

四、地质事件与成矿作用

前寒武-寒武纪界线附近所发生的两个地质事件——铀异常事件和缺氧事件不仅记录了这个时期宇-地间的相互作用,而且为许多元素的富集成矿创造了条件。众所周知,沉积矿床形成的基本条件:一是物质来源,二是适宜的环境,两个地质事件在这方面均作出了贡献。

铀异常事件实际上是多元素异常事件,它提供了如铂族、金、镍、钴及部分铁等元

素。而缺氧事件则为上述元素以及其它陆源的、海源的许多元素创造了充分海解的条件,并使许多亲硫元素和变价元素富集形成硫化物、硫盐类的矿床如硫铁矿、银矿、铜矿、镍铂矿、重晶石矿、沥青铀矿等。缺氧环境中的腐泥型有机质和藻类不但自身聚集形成石煤,并且吸附大量金属元素从而形成铀矿、钒矿、金矿等。所以在缺氧环境中可以形成重要的工业矿床,可以形成具潜在远景或可供综合利用的矿床,可以造成多元素的富集从而为层控矿床提供矿源层,还可以形成大型石煤矿以及成为生油、生气的母岩。因此,缺氧环境对许多矿床的形成是个重要的环节,可称为“缺氧环境成矿。”因此,地质历史上带有普遍性或区域性的缺氧环境或缺氧事件应该成为找矿的对象和研究潜在资源的对象,也是探索许多层控矿床的重要依据。

参 考 文 献

- 〔1〕 张勤文等,1984, 在前寒武纪和寒武纪界线上的地质事件,“国际交流地质学术论文集”, 143—148页,地质出版社。
- 〔2〕 范德廉等,1981,南方几省下寒武统黑色岩系及层状多元素富集层 沉积岩石学研究, 23—45页,科学出版社。
- 〔3〕 Fan Delian, 1983, Polyelements in the lower Cambrian black shale series in southern China. in "The significance of trace elements in solving petrogenetic problems and controversies", ed. by Prof. S.S. Augustithis, p.447—474, Theophrastus publications S.A., Athens, Greece.
- 〔4〕 Fan Delian et al., 1984, The lower Cambrian black shale series and the iridium anomaly in south China. in "Developments in geosciences", p.215-224. Science Press, Beijing, China.
- 〔5〕 Ganapathy, R. 1980, Science, V.209, p.921-923.
- 〔6〕 Hsü, K.J. et al., 1985, Nature, V.316, p.809-811.
- 〔7〕 Jenkyns, H.C. 1980, Geol. Soc. London, V.137, p.171-188
- 〔8〕 Legget, J.K. 1980, Geol. Soc. London, V.137, p.139-156.

THE GEOLOGICAL EVENTS AND ORE MINERALIZATION NEARBY THE PRECAMBRIAN-CAMBRIAN BOUNDARY IN YANGTZE PLATFORM

Fan Delian Ye Jie

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

Yang Ruiying Huang Zhongxiang

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

Abstract

1. The iridium anomaly and the rare event

The iridium anomaly was discovered in the lower Cambrian Ni-Mo polyelement layers by means of Instrumental Neutron Activation Analyse (INAA) in 1982. Since then systematic and detailed studies were made on 6 sections in Yangtze Platform. 67 samples were analysed by means of INAA and 17 iridium anomalies were found in different rocks, mostly Ni-Mo polyelement layers. It is noteworthy that high value of iridium in phosphatic and barite-pyrite concretions have also been discovered, indicating the reconcentration of iridium during the early diagenetic stage (Table 1).

The abundance of the noble metals in the lower Cambrian Ni-Mo polyelement layers, the Cretaceous-Tertiary boundary clays, basalt and chondrite is listed in Table 2. Fig.2 shows the abundance of the noble metals relative to that of C_1 chondrite. Most metals in Ni-Mo polyelement layers such as Os, Pt, Co and Pd have flat distribution pattern, but Ni and Au have a high concentration, Ir content is much low.

The iridium anomaly has a wide distribution both in space and in time which extends intermittently about 1600 km on Yangtze Platform(Fig.1). No.1 is the Dayuan section in Guizhou Province where iridium anomaly is found in phosphorite, black dolomitic siltstone and Ni-Mo polyelement layer. No.2 is the Xintugou section in Guizhou Province, where high iridium content is found in phosphatic concretions and Ni-Mo polyelement layers. No.3 is the Tianmenshan section in Hunan Province, where iridium anomalies are discovered in Ni-Mo polyelement layers and black muddy siliceous rock. No.4 is the Yanglingshan section in Jiangxi Province, where high iridium content are found in black siliceous rock and barite-pyrite concretion. No.5 is the Nanshan section in Jiangxi Province, but no iridium anomaly is found there. No.6 is the Jianglong section in Zhejiang Province, where iridium anomalies

are discovered in phosphorite and Ni-Mo polyelement layer. Stratigraphically the layers of high concentration of iridium are located mainly about 30cm to 2m sometimes 5m or over, above the underlying dolostone. The iridium anomaly can be found in two types of sedimentary sequences and various rocks, which quite different from each other in sedimentary environment. So from mentioned above, the iridium anomaly would be interpreted as an indicator of a rare event, related to extraterrestrial factors.

2. Iridium and other polyelement concentrations

Iridium coexists with more than 30 elements, in order to make clear the relations among them, more detailed studies were done in the Xintugou section. We collected 16 samples for INAA from the Xintugou section, with 1.56m in thickness.

Plate I shows the geological occurrences of Ni-Mo polyelement layer (Gx115), underlying phosphatic lenticle (Gx114) and overlying black silty shale (Gx116) from Xintugou section. Plate I-2 indicates a sample of Ni-Mo polyelement ore, consisting of "clastic" sulfides (A1) with 7cm in thickness and limestone (A2) with 1cm in thickness. Using reflected light microscope, we have selected three samples for INAA which consist mainly of Ni-sulphides (a), Mo-sulphides (b) and Fe-sulphides (c) respectively. The result of INAA indicates the high content of iridium as well as those of Ni, Mo, Zn, As, Se, Co, Au (Tab.3, Fig.3), U and REE are concentrated mainly in Ni-Mo polyelement layers, phosphatic lenticles, concretions and phosphorite beds (Fig. 4, 5).

It is noteworthy that the coexistence of the polyelements does not indicate that they have only one material source. In the light of their geochemical characteristics and the abundance in the crust and chondrite, we consider that the platinum metals, Au, Ni, Co, Se, as well as part of Fe would have mainly an extraterrestrial origin, whereas U, Th, Ba, REE, Zn, Sb etc. would come from the continent or ocean, especially from the hot springs, hot brines and volcanic eruptions. In the anoxic environment rich in sapropel and sulfur these multisource elements can coexist together.

3. Black shale series and anoxic event

Black shale series is a set of dark gray-black mudrock, siliceous rock and carbonate rock association, rich in sulphides and organic matter ($C_{org} > 1\%$).

The black shale series nearby the Precambrian-Cambrian boundary are widely distributed in South China, Qinling Mountains region and Xinjiang Province etc. In Yangtze Platform the lower Cambrian black shale series have a thickness of about 60-160m, and cover an area of about 1 million square kilometres. In the Tianmenshan section, the thickness of lower Cambrian Niutitang Formation is about 60m (Tab.4), the average V/Cr ratio is 7 from 213 samples and the average C_{org} content is 6.55% from 305 samples. The organic matter is mainly sapropelic. From Tab.4, we can see the lower part of Niutitang Formation with thickness about 20m has more organic matter and higher V/Cr ratio, which indicates a fairly strong anoxic

environment favorable to the accumulation of many metals. The Ni-Mo polyelement layers are formed right in such an environment. Based on the data described above it is considered that the anoxic environment was closely related to an Oceanic Anoxic Event, under the influence of an extraterrestrial event.

4. The characteristics of the geological events occurred nearby the Precambrian-Cambrian boundary can be summarized as follows:

(1) The iridium anomaly has a wide distribution both in space and in time. It occurs in stratigraphic layer of tens cm to 2m, even more than 5m in thickness, indicating a long time discontinuously and cyclicly supply by extraterrestrial material.

(2) Nearby the Precambrian-Cambrian boundary there are geochemical anomalies both of polyelements (Ir, Os, Pt, Pd, Au, Fe, Ni, Co, V, etc.) and of carbon-isotope (Hsü et al., 1985).

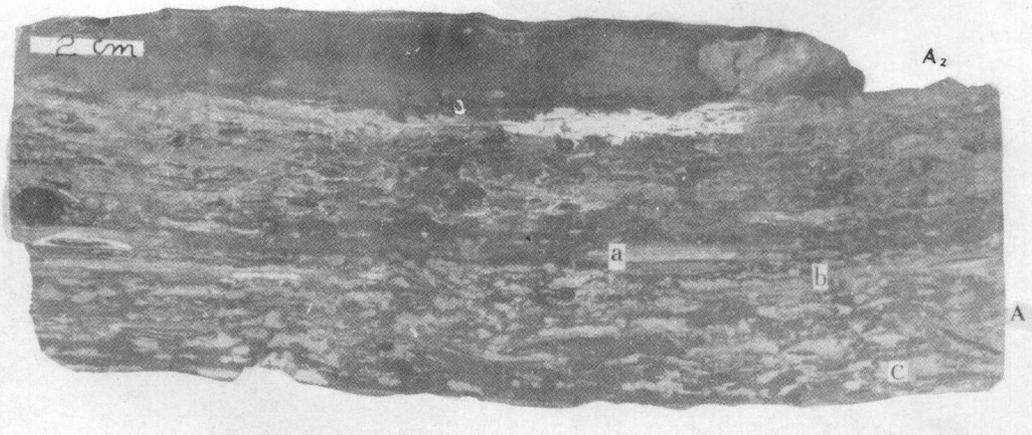
(3) The iridium anomaly event and the Oceanic Anoxic Event were in alternation with each other. Both of them had a close relationship with the extraterrestrial event

(4) The formations of huge vanadium and barite ore deposits, marine sapropelic stone coal and Ni-Mo polyelement layers are closely related to the two described geological events.

(5) The horizon containing iridium anomalies is the same horizon of great changes in sedimentary environments, from oxidic, temperate, abundance in organisms varied to reduced, anoxic and extinct of life forms.

Therefore, the iridium anomaly nearby the Precambrian-Cambrian boundary is quite different from that of the Cretaceous-Tertiary boundary both in its characters as well as in its origin.

The reasonable interpretation of iridium anomaly event is that when the solar system passed through the space of dense galactic system, mass of small comets material showered on the surface of the earth. The process of the showering of comet materials not only supplied a lot of polyelements, but also made an anoxic and toxic environment, favorable for concentration of multisource polyelements and extinction of organic forms. The duration of this showering process would last hundreds of thousand of years, however, more accurate interpretation would need the joint efforts of many scientists.



1. 新土沟坑道内镍钼多元素层 (GX 115) 及其上黑色粉砂质页岩 (GX 116) 及其下磷块岩透镜体 (GX 114) 的地质产状
2. 新土沟坑道内的镍钼多元素矿石标本 (GX 115) 全貌及分层取样部位