

文章编号: 1000-0550(2003) 01-0118-07

# 前寒武纪沉积岩中自生独居石的发现及其意义<sup>1</sup>

宋天锐 和政军 万渝生 张巧大 聿忠

(中国地质科学院地质研究所 北京 100037)

**摘要** 由于受到葛家屯组中发现自生方铅矿的启发,首次于大连前寒武纪震旦系十三里台组泥岩中发现了自生独居石,这一发现为在中国北方前寒武纪沉积岩中寻找自生独居石提供了重要的线索。它为进一步探索 U、Th-Pb 同位素测年拓展了新的研究领域和提供了可能性。本文列举了中国北方前寒武纪沉积岩中 Ce 元素异常以及 REE 较高的例证,认为上述地区都有可能发现自生独居石。同时介绍了最近又在北京十三陵中元古代的常州沟组和串岭沟组所发现自生独居石的新资料。研究表明,自生独居石的电子探针扫描形态,与岩浆岩、变质岩及砂矿中截然不同。在地质年代分布上,元古宙 REE 相对丰度较高,特别是 LREE 较高的泥质岩多数来自古陆壳上。资料对比结果显示:在 La+Ce+Nd、Yb+Y、Sm+Gd+Dy 三角图中,北京十三陵元古宙泥质岩、大连震旦系十三里台组泥岩和辽南-辽西中元古宙泥质岩都属于近古陆的沉积类型。首次提出,中国北方元古宙沉积与南方震旦系磷块岩沉积环境存在明显的不同并反映在三角图中,前者离 La+Ce+Nd 端点近,而后者由于成因上属于洋流上升沉积物而远离该端点。按照大连震旦系十三里台组沉积环境特点,自生独居石应为生物成矿作用的产物,含矿物泥岩形成于总体氧化环境中的局部还原亚环境中。基于此,建立了礁后泻湖生物成矿模式图。同时,设想北方前寒武纪富稀土元素沉积岩可能成为内蒙白云鄂博巨型稀土矿床的矿源层。

**关键词** 自生独居石 前寒武纪 沉积岩 生物成矿 稀土元素

**第一作者简介** 宋天锐 男 1931年 出生 研究员 博士生导师 矿物学 岩石学 沉积学

**中图分类号** P571 **文献标识码** A

## 1 前言

目前采用的等离子光谱分析比以前的火焰光谱分析精确度提高很多,基本上接近定量分析的结果。在大连金石滩葛家屯组泥质岩分析中,发现 Pb 含量达到 103.50  $\mu\text{g/g}$ 。根据这一异常现象,我们在在电子探针分析中,找到了水滴状自生方铅矿<sup>[2]</sup>。受到这一发现的启示,在分析十三里台组泥岩时,也发现 Ce 含量高达 139.50  $\mu\text{g/g}$ <sup>[1]</sup>,从而进一步找到了自生独居石。最近我们又在在北京十三陵的中元古代常州沟组和串岭组的泥质岩中,也都相继发现了自生独居石的存在。元古宙泥质岩中自生独居石的发现,为将来利用离子探针测定同位素地质年龄提供了可能性。根据已有资料,在辽南、辽西和宣化等地的元古宙泥质岩中,都有可能找到含有自生独居石的层位,为解决那些长期有争议的古老地层的地质年代问题提供了一条新的潜在研究途径<sup>[6-6]</sup>。

## 2 含自生独居石矿物沉积岩及其特征

在岩浆岩、变质岩和砂矿中见到的独居石矿物常常呈单斜晶系短柱状晶体,并显示轴面 b(010),

a(100), w(101), x(-101) 和斜方柱面 m(110), V(111)(图1)<sup>[7]</sup>(图1A)。

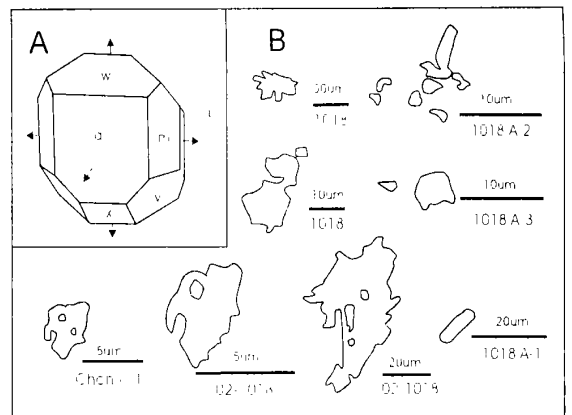


图1 独居石的典型结晶形态(A)和根据电子背闪射照像描绘的自生独居石形态(B),样品取自大连和北京元古宙泥质岩(1018取自大连,Chch取自北京)

Fig. 1 Typical crystal form of the monazite(A) and authigenic monazite crystalline forms drawn according to electron back scattered photographs(B) from Proterozoic mudstones of Dalian and Beijing (samples 1018 from Dalian and sample Chch from Beijing)

<sup>1</sup> 国家自然科学基金项目:(批准号:49772121和40172044)资助  
收稿日期:2002-12-26 收修稿日期:2003-01-10

### 2.1 前寒武纪沉积岩中的自生独居石

在大连金石滩震旦系十三里台组灰绿色泥岩中发现的自生独居石具多种不规则形态, 大小由  $< 5 \mu\text{m}$  至  $> 50 \mu\text{m}$  不等。北京十三陵常州沟组和串岭沟组的自生独居石晶体更小, 只有  $4 \mu\text{m}$  左右, 具有散点状、单针状、葫芦状、晶簇状、聚片晶状、连晶状和其它不规则形态。较大一些的独居石个体中, 常常包含有石英微粒包裹体, 反映了成岩过程中, 独居石生长捕获的石英残

余物<sup>8)</sup>。

### 2.2 自生独居石的化学成份

独居石的矿物化学式为:  $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$ 。大连金石滩震旦系十三里台组泥岩和北京十三陵中元古代常州沟组和串岭沟组中发现的自生独居石, 都包含了典型独居石矿物的基本成分, 以电子探针分析的能谱曲线最能说明问题(图 2a, b)。

经过电子探针波谱分析, 证明自生独居石除包含

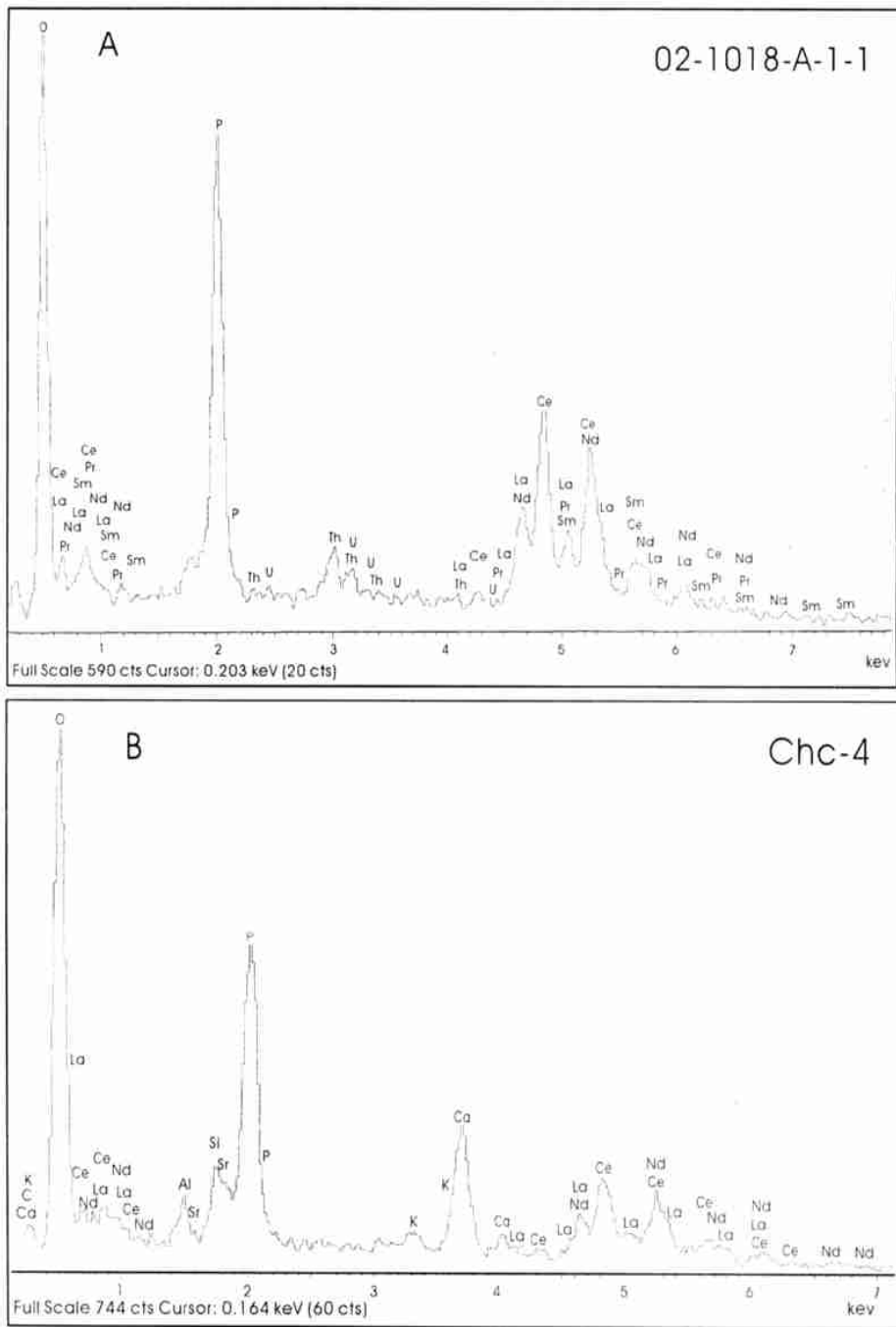


图 2 大连金石滩震旦系十三里台组泥岩中自生独居石的能谱曲线(A)和北京十三陵中元古代常州沟组泥质岩中自生独居石的能谱曲线(B)

Fig. 3 Energy spectrum curves of authigenic monazite in mudstone of the Shisanlitai Formation, Sinia System of the Dalian Golden Pebble Beach (A) and of the Changzhougou Formation, Middle proterozoic of the Ming Tombs District, Beijing (B)

表 1 自生独居石的化学成份(电子探针波谱分析)(%)

Table 1 Chemical composition of authigenic monazite (by electron probe wave spectrum analysis) (%)

Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ThO <sub>2</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO
33.28	9.52	17.26	30.04	2.73	3.12	2.01	0.59	0.19	0.34	0.56	0.14
25.88	6.92	22.50	29.36	3.16	3.80	4.57	1.61	0.21	0.05	0.49	0.49
27.20	6.81	22.01	26.01	0.94	5.56	5.60	2.41	0.81	-	0.44	-
27.04	6.26	22.74	29.46	1.29	4.00	3.86	2.88	0.39	-	1.07	-

P, Ce, La, Nd 和 Th 几个主要化学成份以外,还包含其它稀土元素和微量化学成份(表 1)。

对于利用自生独居石进行 U、Th - Pb 同位素地质测年来说, U 和 Th 的含量至关重要,但是其中含 U 量很低不足以测量和计算。然而 Th 含量对于几个不同的自生独居石晶体比较,其含量也不很稳定,其 ThO<sub>2</sub> 含量可以从 0 至 5.48% 之间浮动(表 2, 图 3)。

表 2 9 个自生独居石晶体主要化学成份比较表(%)

Table 2 Comparison table of main chemical composition of 9 authigenic monazite crystals (%)

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>
(1)	34.92	31.58	12.13	15.78	4.05
(2)	34.78	45.10	24.41	12.49	0.68
(3)	30.99	36.49	16.10	10.18	5.48
(4)	30.04	33.28	9.52	17.26	2.73
(5)	29.36	25.88	6.92	22.50	3.16
(6)	26.01	27.20	6.81	22.01	0.94
(7)	29.46	27.04	6.26	22.74	1.29
(8)	41.31	39.77	18.48	14.17	0
(9)	32.55	35.49	15.04	13.33	2.43

根据表 2 所列数据作出对比图,反映自生独居石主要化学成份变化幅度是显著的,尤其是 ThO<sub>2</sub> 的含量变化不容忽视(图 3)。

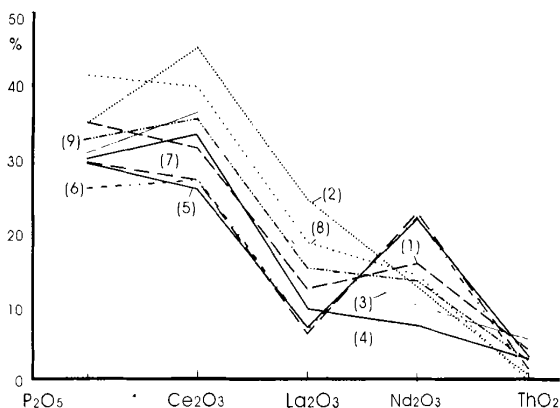


图 3 自生独居石晶体主要化学成分变化图

Fig. 3 Change of main chemical composition of authigenic monazite crystals

## 2.3 含自生独居石泥岩特征

大连金石滩震旦系十三里台组中首次发现的自生

独居石,其岩石是由非常细小的多硅白云母组成的泥岩,其化学组成是以富 K 富 REE 和富 Si 为特征<sup>6)</sup>。北京十三陵中元古代常州沟组和串岭沟组含自生独居石的是细粉砂质泥岩,是在岩石中显微缝合线的上下部位发现的。无论是在大连或是在北京十三陵,都是全岩含 Ce 或  $\Sigma$ REE 异常高的岩石。根据这一线索,我们推断在天津蓟县元古宙沉积岩,特别是含泥质岩较多的层位,以及辽南、辽西等地元古宙泥质岩中,都有可能发现自生独居石。

### 2.3.1 大连、北京十三陵、天津蓟县泥质岩化学成分的比较

根据已发表的资料,大连、北京十三陵和天津蓟县前寒武纪沉积岩中 Ce 含量超过 100  $\mu$ g/g 的地层,有十三里台组,常州沟组、串岭沟组、下马岭组和景儿峪组<sup>6-5)</sup>。除了自生独居石有可能被发现外,自生重晶石、天青石、锰矿物,甚至再生长或自生的锆石都有可能存在(表 3)。

如前所述,自生独居石的发现是由于自生方铅矿的发现启发而来。当然,这些自生矿物的形成过程中会受到深部成岩作用的影响,北京十三陵常州沟组和串岭沟组自生独居石出现在显微缝合线附近也说明这种特征。

### 2.3.2 国内外若干沉积岩 Ce 和 REE 比较

自生独居石的存在与泥岩中 Ce 含量较高的对应关系已得到证实,对比国内外若干沉积岩 REE 总含量也可推断存在着自生独居石的可能性。总体上可以看出,如果沉积岩远离古陆源区则  $\Sigma$ REE 较少,反之则较多。北京十三陵常州沟组泥质岩中的  $\Sigma$ REE 大于 500  $\mu$ g/g,说明沉积区离古陆剥蚀区最近,其他指相元素对比也说明常州沟组和串岭沟组的含量变化趋势一致。相对而言,洪水庄组泥质岩较前二者稍远一些,不仅 Ce, La, Nd, Th 含量低得多,而且 Al, K, Na, Ti, Ba 也相对较少,相反 Ca, Mg, Mn 相对增加了,说明洪水庄组泥质岩离古陆远而距海洋沉积区近<sup>6)</sup>。辽南、辽西的元古宙泥质岩和大连震旦系十三里台组泥岩,也都具  $\Sigma$ REE 和 Ce 含量较高特点。我国南方黔东震旦纪磷块岩  $\Sigma$ REE 就比北方元古宙泥质岩低<sup>6)</sup>,国外的北美页岩(NASC),欧洲页岩(ES)和澳大利亚后太古代

表 3 大连、北京、天津三地有可能发现自生独居石及其它自生矿物的地层及化学成份(等离子光谱分析)

Table 3 Possible strata in which authigenic monazite and other authigenic minerals might be discovered, and their chemical composition in Dalian, Beijing and Tiansin (by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry analysis)

地点	时代	组名	%					μg/g					可能出现的 自生矿物
			Al	Fe	Ca	Mg	K	Ti	Mn	P	Ba	Cu	
大连	Z	(葛家屯组) 1015-7A(g)	0.13	14.15	0.29	0.07	< 0.20	889.6	58.81	< 60.00	22.45	50.85	方铅矿连
		十三里台组 1010-18(1)(s)	13.7	4.29	0.23	1.07	6.31	8437	79.61	472.7	460.4	44.29	独居石锆石重晶石 独居石天青石方铅矿锰矿物
北京 (十三陵)	Pt	(常州沟组)	7.91	0.43	0.85	0.24	8.28	3687	186.9	736.2	492.8	43.54	独居石天青石重晶石锰矿物
		(串岭沟组)	8.73	5.71	0.16	0.29	7.2	4421	164.7	496.4	613.1	77.25	独居石天青石重晶石锰矿物
天津 蓟县	Pt	(常州沟组)	11.3	1.53	0.18	0.56	4.72	3161	142.5	657.3	287.7	281.4	独居石铜矿物
		(下马岭组)	9.78	5.07	0.98	0.5	2.86	4079	393.4	289.4	655.3	37.79	独居石锰矿物
		(景儿峪组)	8.75	4.97	2.8	0.74	3	4096	301.8	312.1	674.9	19.84	独居石锰矿物
地点	时代	组名	μg/g					%					可能出现的 自生矿物
			Ga	Li	Pb	Sr	Th	V	Zn	Ce	Y	Zr	
大连	Z	(葛家屯组) 1015-7A(g)	< 5.00	2.79	103.5	9.44	6.11	12.83	32.87	15.81	10.26	93.66	方铅矿连
		十三里台组 1010-18(1)(s)	31.2	41.06	< 13.00	22.04	28.86	175.9	58.95	139.5	21.05	193.4	独居石锆石重晶石 独居石天青石方铅矿锰矿物
北京 (十三陵)	Pt	(常州沟组)	19.5	3.56	108.6	188.5	21.17	59.4	62.75	92.57	12.13	65.8	独居石天青石方铅矿锰矿物
		(串岭沟组)	16.9	4.2	54.98	122.47	10.01	101.9	228.3	114.3	19.46	43.86	独居石天青石重晶石锰矿物
天津 蓟县	Pt	(常州沟组)	23.6	36.9	36.46	90.58	21.64	63.12	74.14	126.2	23.51	195.1	独居石铜矿物
		(下马岭组)	22.3	42.19	19.65	58.44	19.95	143.1	42.23	107.3	40.1	271.8	独居石锰矿物
		(景儿峪组)	19.6	44.2	28.93	65.58	13.62	71.92	50.92	94.03	22.72	272.2	独居石锰矿物

页岩(PAAS)的ΣREE和Ce含量都相对较低<sup>[10]</sup>(图4)。

2.3.3 La+ Ce+ Nd, Sm+ Gd+ Dy, Yb+ Y的含量比

泥质岩稀土元素中轻稀土元素的含量更能代表近陆源的特点,独居石中主要轻稀土元素中La+ Ce+ Nd具有指示性意义,因此,富稀土元素的泥质岩含有自生独居石也是近陆源区沉积的指示物。

宇宙球粒陨石和太平洋泥质沉积物中,稀土元素的总含量都很低,尤其是轻稀土元素含量更少,因此,La+ Ce+ Nd, Sm+ Gd+ Dy和Yb+ Y的三角图表投点区更加远离La+ Ce+ Nd端元,而北京十三陵、大连金石滩和辽南-辽西的元古宙泥质岩则距此投点区非常接近。本文首次引用叶连俊等的文献,把黔东磷块岩的数据和华北元古宙沉积岩对比,很明显磷块岩远离La+ Ce+ Nd端点,因为这种类型磷的富集主要来自

上升洋流(图5)。

### 3 生物成矿与自生独居石的形成

大连金石滩震旦系十三里台组是一套红色铁质浸染的叠层石灰岩夹灰绿色泥岩,自生独居石含在泥岩中。与泥岩过渡的岩性中包含钙质结壳岩,代表滨岸沉积与礁岩的交替产物,同时,也反映出整个十三里台组是呈现在强烈氧化环境之中。而灰绿色泥岩则处于礁后泻湖相,所以,自生独居石是形成于整体氧化的大环境局部还原的小环境之中。从地球化学条件分析,强氧化有利于陆源物质K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Si<sup>4+</sup>, Ce<sup>4+</sup>, La<sup>4+</sup>, Nd<sup>4+</sup>, Th<sup>4+</sup>, 等离子向海洋方向迁移,同时,来自海洋的P<sup>5+</sup>以及来自藻菌降解的H<sub>2</sub>S向礁后泻湖底部富集,促使大量的粘土类矿物(KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>),少量的黄铁矿(Fe<sub>2</sub>S)、赤铁矿(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)出现,而自生独居石(Ce, La, Nd, Th)PO<sub>4</sub>也就随之形成(图6)。泥岩岩石

全分析(%) : Na<sub>2</sub>O 0.38, MgO 0.71, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16.47, SiO<sub>2</sub> 61.91, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.07, K<sub>2</sub>O 11.94, CaO 0.04, TiO<sub>2</sub> 1.06, MnO 0.03, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.33, FeO 0.25, H<sub>2</sub>O 0.88,

CO<sub>2</sub> 0.13, 说明是一种非常特殊的富 Si, K, REE 的多硅白云母泥岩。

从沉积发展史分析, 营城子组和十三里台组是台

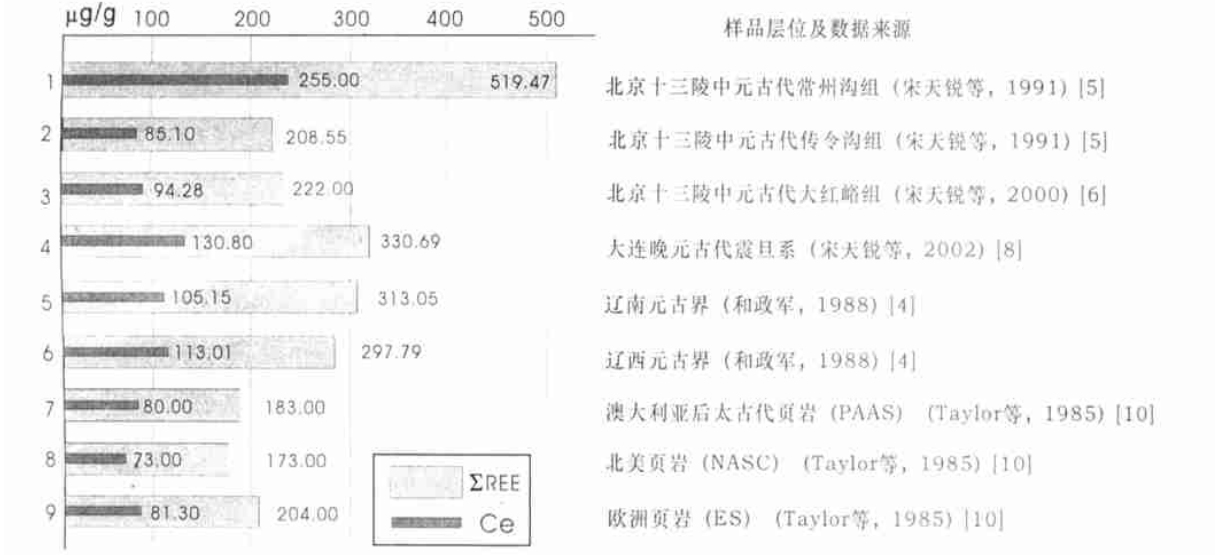


图 4 ΣREE 和 Ce 含量比较图

Fig. 4 Comparison diagram of ΣREE and Ce contents

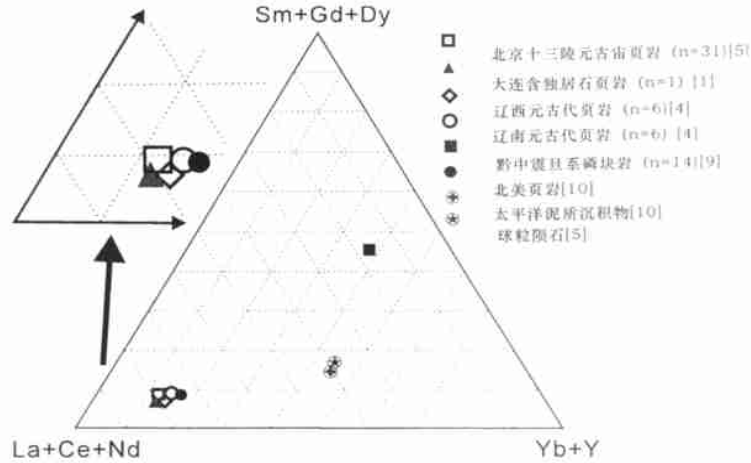


图 5 不同类型样品 La+ Ce+ Nd, Sm+ Gd+ Dy, Yb+ Y 三角图表投点

Fig. 5 Triangle diagram plotted according to La+ Ce+ Nd, Sm+ Dg+ Dy, Yb+ Y ratio of various samples

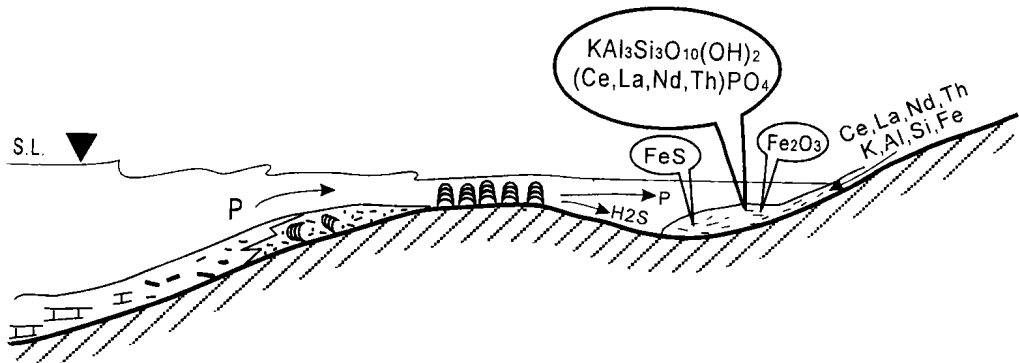


图 6 礁后泻湖生物成矿模式图

Fig. 6 Biom mineralization model of reef back-lagoon

地隆升期形成的, 十三里台组氧化强烈。之后, 马家屯组一直到兴民村组都是沉降时期形成, 尤其是兴民村组碳酸盐岩, 白云质岩层为主, 较少叠层石灰岩, 具递变层浊积层和地震滑塌角砾以及臼齿状构造(molar tooth structure), 都代表缓坡沉积环境(ramp sedimentary environment)<sup>[11]</sup>。由此可见, 自生独居石的形成仅限于十三里台组中。

微生物降解是促进生物成矿的重要因素<sup>[2]</sup>, 北京十三陵常州沟组和串岭沟组中发现自生独居石, 也是形成在强烈氧化大环境局部还原的泻湖环境中<sup>[3]</sup>。虽然含自生独居石的泥质岩中陆源碎屑物如石英、长石等比较多, 但是独居石是自生的毋庸置疑。其特殊之处是: 自生独居石多集中于显微缝合线附近, 有可能受深部成岩作用影响, 缝合线形成过程中提供了 REE 的物源。

## 4 结论和讨论

前寒武纪沉积岩中自生独居石发现的意义具有以下几方面。

4.1 为前寒武纪地层的 U、Th-Pb 法同位素测年提供了可能性

前寒武纪地层中的同位素测年已经有多种方法, 虽然我们应用 Pb-Pb 法对北京十三陵的高于庄组和雾迷山组测年成功<sup>[4]</sup>, 但是公认为最可靠的是利用锆石的 U、Th-Pb 同位素测年法, 因为锆石产自火山岩地层具有判断地层年代的依据, 但是地层中火山岩并非十分普遍, 因此, 比较普遍的自生独居石的发现, 为更大范围的 U、Th-Pb 法同位素地质测年提供了条件。

4.2 离子探针在自生独居石 U、Th-Pb 法测年方面的应用

近代出现了离子探针(SHRIMP, Sensitive high resolution microscope)和二次离子质谱(SIMS, Secondary ion mass spectrometry)测年方法, 这种新设备已经在中国地质科学院地质研究所建立起来, 并且在锆石的 U、Th-Pb 法地质测年方面发挥了很好的效果。如果今后能对前寒武纪沉积岩中自生独居石测年取得突破, 将可能解决我国广大元古宙地层的时代和层位对比问题。目前遇到的困难是自生独居石晶体太小。根据以往资料, 在 $< 2 \mu\text{m}$ 的粘土组分中, Ce 含量仍可达  $255 \mu\text{g/g}$ , 实际上独居石的比重为  $5.98 \sim 5.06 \text{ g/cm}^3$ , 白云母类矿物的比重只有  $2.7(\pm) \text{ g/cm}^3$ , 因此, 独居石细粒存在于细小粘土悬浮物中是受到布朗运动的影响, 将来可以采用离心分离法解决。但是, 如前所述自生独居石的集合体分离后变得更小, 则可采

用放射性显影法寻找原样切片中的位置。实验证明沥青铀矿小粒在 7 日暗箱操作即可在 X-射线胶片上感光, 而独居石 Th 含量较少, 可大大延长感光时间取得曝光效果。由于  $\alpha$ -敏感光材料不易找到, X-射线胶片可获得  $\beta$ 感光<sup>[5]</sup>。

4.3 Ce 含量和  $\Sigma\text{REE}$  与古地理

Ce 含量多寡是自生独居石存在与否的指示性标志,  $\Sigma\text{REE}$  和  $\Sigma\text{LREE}$  对古地理的判别也很有帮助。本文列举北京十三陵、大连金石滩、辽南-辽西元古宙沉积泥质岩中含稀土元素与国内外相关数据的比较, 颇能说明这方面的情况。本文首次以 La+Ce+Nd, Sm+Gd+Dy, Yb+Y 三角图的投点, 论证了华北元古宙沉积岩和华南震旦纪磷块岩沉积环境的不同, 认为后者远离古陆是上升洋流的沉积物。

4.4 继续寻找超大型稀土矿床

内蒙白云鄂博是全国乃至全世界范围内的超大型矿床, 华北元古宙沉积岩中富稀土层位是否为超大型稀土矿床的矿源层值得讨论。进而言之, 在内部和外部条件类似的地方, 特别是广大隐伏地区, 能否再寻找到另一个白云鄂博型超大型稀土矿床是今后的一项重要任务<sup>[6-18]</sup>。

## 参考文献(References)

- 1 宋天锐. 大连地区前寒武纪沉积岩中发现自生独居石及其意义[J]. 沉积学报, 1999, 17(Supp): 663 ~ 667 [Song Tianrui. Discovery of Authigenic Rare Earth Mineral-Monazite in Precambrian Sedimentary Rock of Dalian Area and its Significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(Supp): 663 ~ 667]
- 2 宋天锐, 乔秀夫. 辽宁金县寒武纪早期生物矿化迹象[J]. 矿床地质, 1992, 11(4): 359 ~ 366 [Song Tianrui and Qiao Xiufu. A trace of biomineralization in the Early Cambrian of Jingxiang County, Liaoning Province[J]. Mineral Deposits, 1992, 11(4): 359 ~ 366]
- 3 乔秀夫, 宋天锐, 李海兵等. 辽南半岛南部震旦系一下寒武统成因地层—附大连金石滩海岸国家级风景区旅游导游[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 106 ~ 127 [Qiao Xiufu, Song Tianrui, Lihaijing, et al. Genetic Stratigraphy of the Sinian and Lower Cambrian Strata in South Liaoning Province—Guidebook of National Scenic Area of Jinshitan Beach[M]. Beijing: Science Press, 1996. 108 ~ 127]
- 4 和政军. 辽宁中元古代—中生代泥质岩稀土元素地球化学[J]. 地球化学, 1988, 92: 129 ~ 135 [He Zhenjun. REE Geochemistry of Middle Proterozoic-Mesozoic Pelites in Liaoning Province[J]. Geochemistry, 1988, (2): 129 ~ 135]
- 5 宋天锐, 赵震, 王长尧等. 华北元古宙沉积岩[M]. 北京: 科学技术出版社, 1991. 45 ~ 52 [Song Tianrui, Zhao Zhen, Wang Chuangyao, et al. Proterozoic Sedimentary Rocks in North China[M]. Beijing: Beijing Scientific Technological Publishing House, 1991. 166 ~ 184]
- 6 宋天锐, 和政军, 丁孝忠等. 北京十三陵元古宙大红峪组含事件信息的沉积岩研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2000, 10(4): 323 ~ 332

- [ Song Tianrui, He Zhenjun, Ding Xiaozhong, *et al.* A Study of Event Message-bearing Sedimentary Rocks of the Dahongyu Formation from the Ming Tombs District, Beijing [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2000, 19(4): 321 ~ 332]
- 7 Matthes S. Mineralogy [ M ]. Springer, 1996. 266 ~ 269
- 8 宋天锐, 张巧大, 万渝生. 一种含自生独居石富钾、富稀土的多硅白云母泥岩 [ J ]. *沉积岩报*, (待刊) [ Song Tianrui, Zhang Qiaoda, Wan Yusheng. A rich K and REE phengite mudstone bring authigenic monazite [ G ]. *Acta Sedimentologica Sinica*, (in press) ]
- 9 叶连俊等. 生物有机质成矿作用和成矿背景 [ M ]. 北京: 海洋出版社, 1998. 205 ~ 213 [ Ye Lianjun, *et al.* Biominalization and its geologic Background [ M ]. Beijing: Oceanological Publishing House, 1998. 190 ~ 212]
- 10 Taylor S R, Melelland S M. The continental crust: its composition and evolution [ M ]. London: Blackwell. Scientific Publication, 1985. 9 ~ 140
- 11 Fairchild I J, Einsele G, Tianrui Song. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, North China [ J ]. *Sedimentology*, 1977, 44: 611 ~ 636
- 12 Ye Lianjun. Aspects of Biominalization [ M ]. Beijing: Seismological Press, 1996. 66 ~ 89
- 13 Song Tianrui, Gerhard Einsele. Proterozoic sedimentary facies and their depositional environments in the Ming Tombs District, Beijing [ C ]. 30th international Geological Congress Field Trip Guide. Beijing: Geological Publishing House, 1996. T201. 1 ~ 201. 26
- 14 张巧大, 宋天锐, 和政军等. 北京十三陵地区中—新元古界碳酸岩盐 Pb-Pb 年龄研究 [ J ]. *地质论评*, 2002, 48(4): 416 ~ 423 [ Zhang Qiaoda, Song Tianrui, He Zhangjun, *et al.* Pb-Pb Age Determination of Meso- to Neoproterozoic Carbonates in the Ming Tombs District, Beijing [ J ]. *Geological Review*, 2002, 48(4): 423 ~ 428]
- 15 宋天锐. 重砂矿物分析方法 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1957. 115 ~ 123 [ Song Tianrui. Analytic Methods of Heavy Minerals [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1957. 115 ~ 123]
- 16 白鸽, 袁忠信. 白云鄂博矿床地质特征和成因论证 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1996. 36 ~ 38 [ Bai G, Yuan Z X. Investigation on Geologic Features and Origin of Baiyun Obo Mineral Deposit [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 36 ~ 38]
- 17 Drew L J, Qingrun M, Weijun S. Baiyun Obo iron-rare-earth-niobium deposits, Inner Mongolia, China [ J ]. *Lithos*, 1990, 26: 43 ~ 65
- 18 Jenes A P, Wall F, Eilliams C T, eds. Rare Earth Minerals; Chemistry, origin and ore deposits [ C ]. Chapman and Hall, 1996. 257 ~ 279

## Discovery of Authigenic Monazite in Precambrian Sedimentary Rocks and Its Significance

SONG Tian-rui HE Zhen-jun WAN Yu-sheng

ZHANG Qiao-da DING Xiao-zhong

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Abstract** The authigenic monazite have been discovered for the first time in the Shisanlilai Formation, Sinian System of Precambrian sedimentary rock from Dalian area. That was inspired by the discovery of authigenic galena in the Gejiatong Formation. There are listed in this paper same examples of North China, where are abnormal high contents of Ce and REE in the Precambrian sedimentary rocks being expected to find authigenic monazite either in above areas or to offer the possibility using U, Th-Pb isotopic method for geo-age determination. This paper introduces new data of authigenic monazite, which recently have been found in Mid-Proterozoic strata of the Ming Tombs District, Beijing. The electron scattered forms of authigenic monazite are quite different with crystalline forms of magmatic, metamorphic, and placer monazite grains. This paper recognizes that high contents of REE, especially, higher LREE of Proterozoic mudstones are deposits near old continental crust. The statistical data of La+ Ce+ Nd, Yb+ Y, and Sm+ Gd+ Dy ratio and plotting in a triangle diagram with Proterozoic mudstones of the Ming Tombs District, Beijing, Golden Pebble Beach, Dalian, and Liaoning Province shows that those samples with more La+ Ce+ Nd belong to near old continental crust deposits. This paper compares for the first time with the Proterozoic sedimentary rocks of North China and phosphate rocks of Sinian System of South China showing the later plotted points far away from La+ Ce+ Nd end point due to the phosphorus element from ocean upwelling. According to analysis of sedimentary environment of the Shisanlilai Formation, Sinian System of Dalian the authigenic monazite should be formed by biomineralization processes. It is demonstrated that local sub-reducing environment under entire oxidation environment created authigenic monazite formation, based on which a reef-back lagoon biomineralization model has been established in this paper. Meanwhile, it is supposed that the Precambrian sedimentary rocks with rich rare earth elements of North China might be the ore-source beds of the huge rare earth mineral deposits of the Baiyun Obo, Inner Mongolia.

**Key words** authigenic monazite, Precambrian, sedimentary rocks, biomineralization, rare earth elements