

文章编号 :1000-6524(2004)01-0019-07

白云鄂博矿床赋矿岩石的自交代现象及其意义

袁忠信¹, 白 鸽¹, 张宗清²

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要:通过对白云鄂博矿床赋矿岩石(白云岩和富钾板岩)的自交代现象研究论证其成因,认为白云岩的原岩是碳酸岩质岩浆岩,富钾板岩是一套沉积-火山岩系,其中微晶-隐晶质钾长石岩为粗面质火山碎屑岩或凝灰岩。

关键词:白云鄂博矿床;赋矿岩石;自交代现象;岩石成因

中图分类号:P588.1;

文献标识码:A

Autometasomatic phenomena of host rocks in the Bayan Obo ore deposit and their significance

YUAN Zhong-xin¹, BAI Ge¹ and ZHANG Zong-qing²

(1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Dolomite marble and K-rich slate are two main sorts of rocks that host the Fe-Nb-REE orebodies of the Bayan Obo deposit in Inner Mongolia. Nevertheless, their protolith rocks and petrogenesis remain problems of much controversy. With 18 microphotographs, the authors illustrate the autometasomatism of the rocks and, on such a basis, try to demonstrate their petrogenesis. It is held that the protolith of the dolomite marble is magmatic carbonatite and that of the K-rich slate is trachytic volcanoclastic rock or volcanic tuff.

Key words: the Bayan Obo deposit; host rocks; autometasomatism; petrogenesis

内蒙白云鄂博矿床是世界闻名的 Fe-Nb-REE 矿床,其 REE 储量巨大,构成超大型稀土矿床。按照以前的认识,矿区内赋矿岩石主要是中元古代白云岩和富钾板岩。这两类岩石虽经国内外众多学者研究,但对其成因的认识极不一致。有关白云岩的成因主要有沉积说或沉积变质说(孟庆润,1982;蔡秀成等,1984;侯宗林,1989;Chao *et al.*, 1992)和岩浆说,后者又有岩浆侵入说(周振玲等,1980;孟庆昌,1981;刘铁庚,1986)及岩浆喷出说(地质矿产所稀有组,1977^①;白鸽等,1985;张培善等,1991;王楫等,1992)。英国学者 Le Bas 等(1992)曾提到矿区白云岩可能是碳酸岩质的火山凝灰岩,但后来又认为

矿区粗晶白云岩是顺层侵入的碳酸岩(Le Bas *et al.*, 1997)。矿区富钾板岩曾被称为浅色板岩、暗色板岩、富钾板岩和钾长石岩等,指的是一种遭受浅变质的泥质岩石,笔者最早称其为粗面岩^①,后又相继做了进一步论述,指出矿区南翼板岩是一套包括碱性流纹岩、碱性粗面岩、碱性玄武岩以及各类蚀变岩石在内的火山沉积岩(袁忠信等,1995;白鸽等,1996;Yuan Zhongxin *et al.*, 2000)。此外,肖荣阁等(2001)提出矿区富钾板岩是一种高温热水沉积岩或深源热卤水沉积岩。本文不拟对上述各种认识进行评述,只介绍白云岩及富钾板岩的一些自交代现象,并简述其成因意义。由于对岩石成因无统一认

收稿日期:2002-11-08;修订日期:2003-06-16

作者简介:袁忠信(1931-),男,研究员,从事稀土元素和矿床地质地球化学研究。

① 地质矿产所稀有组. 1978. 内蒙及湖北等地稀有金属矿床-火山沉积稀有金属碳酸岩的成因分析。《地质矿产研究》内部刊物, 27.

识 ,下面仍以白云岩及富钾板岩二词描述岩石特征 , 仅在文后探讨成因时指出其原岩性质。

1 赋矿岩石特征

1.1 白云岩

矿区白云岩呈层状产出 ,由于普遍受到大理岩化变质作用 ,形成大理岩 ,是矿区主要赋矿岩石。按矿物组成可分为白云石或铁白云石白云岩、方解石-白云石白云岩及方解石白云岩 3 类。这 3 类岩石间无明确界线 ,肉眼难以区分。主、东矿体附近主要分布着第 1 类岩石。按矿物粒度 ,白云岩大体可分为粗晶白云岩及细晶白云岩两类。前者粒度约 0.5~3 mm ,矿物多为他形 ,由于受挤压变质 ,常呈定向排列的短条形 ,菱形解理发育 (图 1-1) ,分布在主、东矿体

外围 ,直接与北侧石英砂岩接触。后者矿物粒度约 0.02~0.5 mm ,多为多边形粒状 ,颗粒间接触边界平直 ,常见三连晶结构 (图 1-2) ,直接分布在主、东铁矿体周围 ,与矿体间为渐变过渡。白云岩的主要组成矿物为白云石和铁白云石 ,含量约 70%~90% ,次要矿物有方解石、磁铁矿、萤石、钠闪石及钠铁闪石 ,少量矿物有金云母、重晶石、钠辉石、菱铁矿、赤铁矿、磷灰石、黄铁矿、微斜长石、石英及镁橄榄石。白云岩稀土矿物发育 ,主要是独居石和氟碳铈矿。粗晶白云岩及细晶白云岩的岩石化学成分列于表 1。由表列数据可知 ,细晶白云岩较粗晶白云岩富 Fe、Mn、REE、F 和 H₂O ,而 Ca、Mg、P 及 CO₂ 的含量相对较低。细晶白云岩含大量稀有稀土元素及挥发分元素 ,与矿体在空间上、组成上甚至成因上关系更为密切。

表 1 粗晶白云岩及细晶白云岩的岩石化学成分

$w_B/\%$

岩石名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ^T	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TR ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	F	H ₂ O	CO ₂	灼减
粗晶白云岩	0.33	0.042	4.72	0.024	31.34	16.58	0.559	0.065	0.12	1.64	0.142	0.066	0.0014	0.144	0.46	40.51	42.47
细晶白云岩	0.39	0.083	11.19	0.120	27.17	14.16	1.074	0.13	0.18	0.39	2.41	0.081	0.0023	1.101	0.67	37.29	38.79

根据周振玲等(1980)数据平均计算得出。

1.2 富钾板岩

矿区富钾板岩呈层状产出 ,主要赋存稀土矿化。其中主、东矿体南侧富微斜长石岩石致密坚硬 ,具微晶-隐晶结构 ,板状构造 ,曾被当作硅化岩石。该岩石又可分为浅色及暗色两类 ,有时在同一露头上 ,甚至同一标本上可见到两种颜色的岩石呈条带分布 (图 1-3) 。主矿上盘采集到两种隐晶质岩石 ,经矿物粒度分析得知 ,浅色岩石矿物的最小粒度为 0.6 μm ,最大粒度 30.0 μm ,平均 4.3 μm ,95% 以上的矿物颗粒小于 14 μm ;暗色岩石矿物的最小粒度 1.4 μm ,最大粒度 43.6 μm ,平均 5.2 μm ,95% 以上的矿

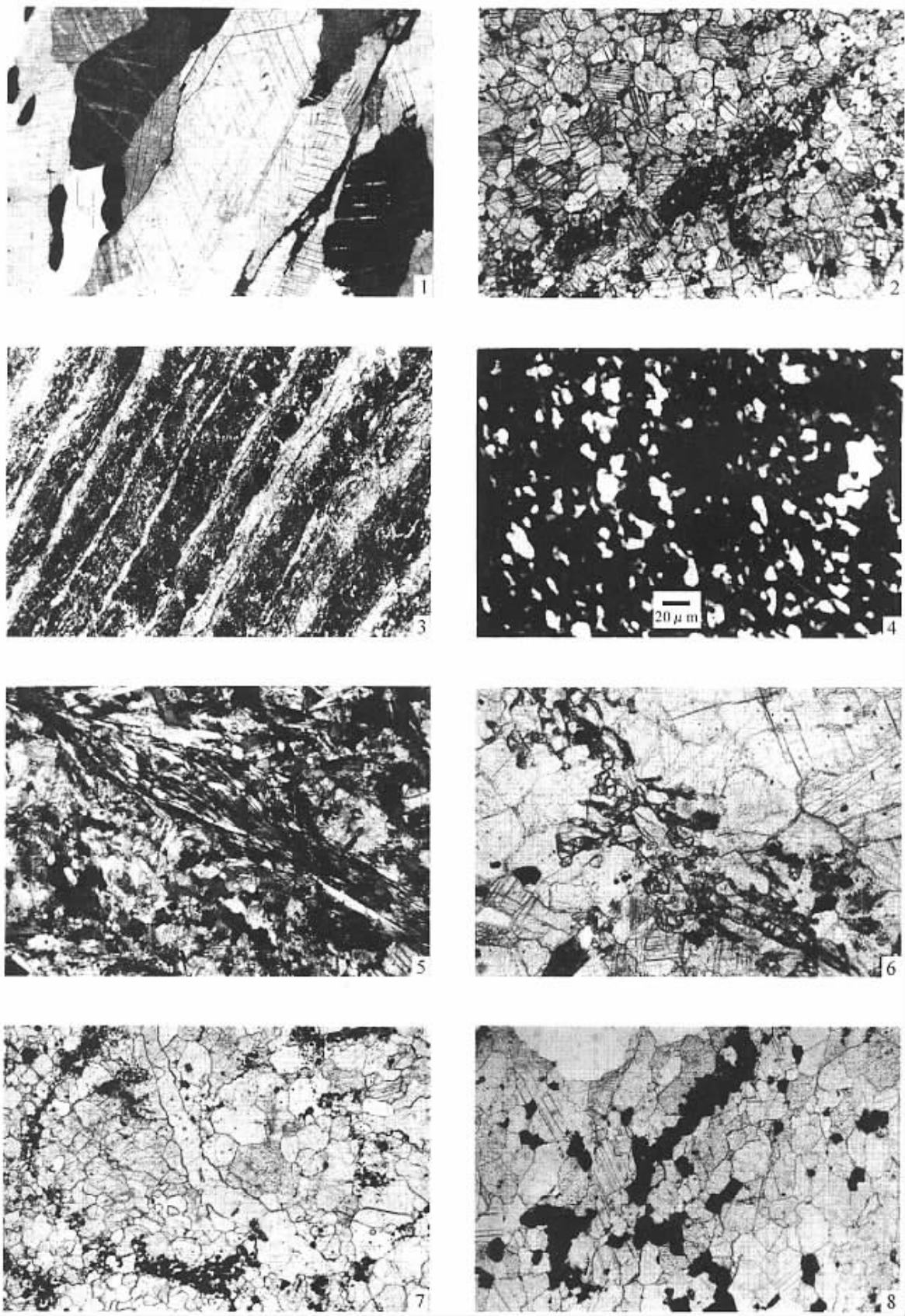
物颗粒小于 14 μm(袁忠信等 ,1995) 。岩石是由极其细小且大小不一、形态极不规整的矿物碎屑组成 (图 1-4) 。两种颜色岩石的矿物成分和化学成分相近 ,惟暗色岩石具较多炭质 ,主要组成矿物是微斜长石 ,含量可达 80% 或更高 ,少量或微量矿物有石英、钠长石、钠闪石、钠辉石、黑云母、磁铁矿、方解石、白云石、磷灰石、萤石、黄铁矿及重晶石等。稀有稀土矿物有独居石、金红石、钽铁钛石、锆石、易解石和氟碳铈矿等。两种颜色岩石的化学成分列于表 2。由上述特征可知这是一种隐晶质岩石 ,应为粗面质火山碎屑岩或凝灰岩。

表 2 两种颜色富钾板岩的化学成分

$w_B/\%$

岩石名称	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失	总计
浅色岩石	MR-2	63.93	0.04	18.14	0.49	0.27	—	0.14	0.05	0.66	15.75	0.01	0.49	99.97
暗色岩石	MR-3	63.46	0.04	17.84	0.27	0.48	0.03	0.17	0.10	0.63	15.75	0.03	0.66	99.46
暗色岩石	ER-3	60.95	—	17.28	3.94	1.47	0.11	0.11	0.68	0.80	15.04	0.07	0.05	100.50

由中国地质科学院测试技术研究所采用常规湿化学分析法分析 ;— 表示未检出。



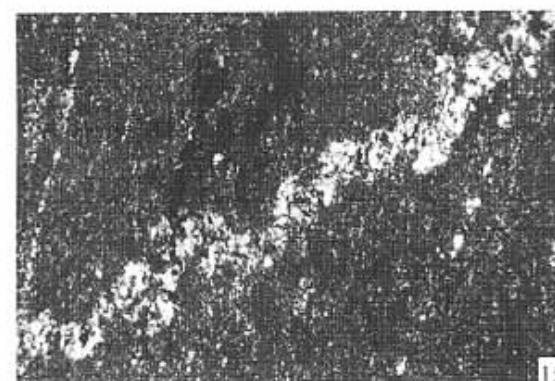
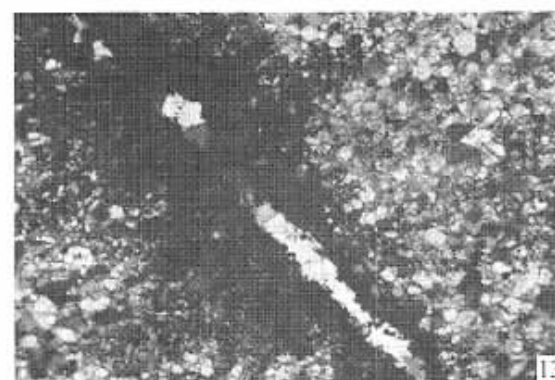
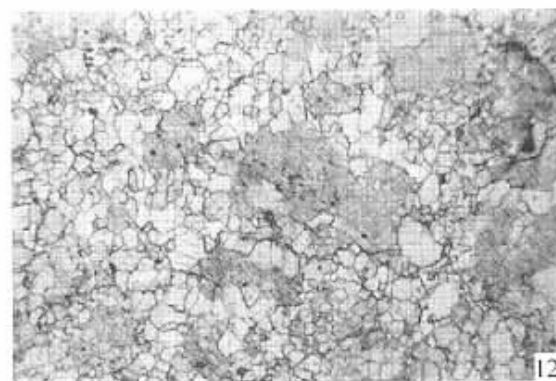




图1 赋矿岩石的显微照片

Fig.1 Microphotos of ore-bearing rocks

1—粗晶白云岩中的短条形白云石晶体,正交偏光,×18;2—细晶白云岩中的三连晶结构白云石、独居石呈细粒似脉状集合体产出,单偏光,×18;3—粗面岩的暗色和浅色条带,单偏光,×18;4—浅色粗面岩的颗粒图象分析;5—细晶白云岩中的晚期钠闪石,正交偏光,×18;6—细晶白云岩中的钠辉石集合体呈网脉状分布,单偏光,×28;7—细晶白云岩中的晚期萤石细脉,单偏光,×28;8—细晶白云岩中的磁铁矿细脉浸染体,单偏光,×28;9—粗晶白云岩中的晚期细晶白云石细脉,正交偏光,×28;10—粗晶白云岩中细晶白云石沿粗晶白云石颗粒边缘穿插分布,单偏光,×18;11—细晶白云岩中的粗晶白云石残余,单偏光,×18;12—细晶白云岩中的粗晶白云石残余,单偏光,×18;13—细晶白云岩中的晚期白云石细脉,黑色碳质涂染脉旁,正交偏光,×28;14—球粒白云岩,单偏光,×18;15—粗面岩中的晚期扭曲状微斜长石细脉,正交偏光,×18;16—粗面岩中被晚期长石溶蚀的早期微斜长石晶屑,正交偏光,×28;17—粗面岩中晚期长石细脉被更晚期微斜长石黑云母细脉穿切,单偏光,×28;18—粗面岩中晚期含萤石、磁铁矿、黑云母、稀土矿物及微斜长石的细脉,单偏光,×18

1—dolomite crystalline strips in coarse-grained dolomite, cross polarized, ×18; 2—trigonal dolomite and monazite distributed as fine veins in fine-grained dolomite, single polarized, ×18; 3—dark-colored and light-colored strips in trachyte, single polarized, ×18; 4—image of light-colored trachyte grain; 5—late riebeckite in fine-grained dolomite, cross polarized, ×18; 6—alkali-pyroxene aggregates distributed as networks in fine-grained dolomite, single polarized, ×28; 7—late fluorite veins in fine-grained dolomite, single polarized, ×28; 8—magnetite veins in fine-grained dolomite, single polarized, 28×; 9—late fine-grained dolomite veins in coarse-grained dolomite, cross polarized, ×28; 10—fine-grained dolomite distributed around the grains of coarse-grained dolomite, single polarized, ×18; 11—coarse-grained dolomite relicts in fine-grained dolomite, single polarized, ×18; 12—coarse-grained dolomite relicts in fine-grained dolomite, single polarized, ×18; 13—late dolomite veins in fine-grained dolomite, cross polarized, ×28; 14—Pellet dolomite, single polarized, ×18; 15—late twisted microcline veins in trachyte, cross polarized, ×18; 16—early microcline crystal fragments corroded by late feldspar in trachyte, cross polarized, ×28; 17—late feldspar veins penetrated by later microcline and biotite veins in trachyte, single polarized, ×28; 18—late veins of fluorite, magnetite, biotite, REE minerals and microcline in trachyte, single polarized, ×18

2 赋矿岩石的自交代现象

2.1 白云岩

矿区白云岩广泛受后期矿物交代。细晶白云岩中见有钠闪石化现象,钠闪石呈自形晶插入白云石(图1-5),有的钠闪石晶体中可见到早期白云石残余。细晶白云岩中可见钠辉石化,钠辉石集合体呈网状细脉穿插在白云岩中(图1-6),明显生成较晚。细晶白云岩中有萤石细脉(图1-7)和磁铁矿细脉—浸染体(图1-8)。图1-2同时显示细晶白云岩中的独居石集合体呈细脉—浸染体分布。上述晚期矿物都明显挤压、穿插、溶蚀早期白云石。

野外粗晶白云岩和细晶白云岩间无明晰界线,

关系不清。但在镜下细晶白云石交代溶蚀粗晶白云石的现象十分清楚。图1-9显示晚期细晶白云石细脉穿插在粗晶白云岩中,图1-10显示细晶白云石集合体围绕粗晶白云石颗粒呈网脉状分布,图1-11、12显示细晶白云岩中的粗晶白云石残余,细晶白云石晶体清晰,粗晶白云石晶体表面模糊,边缘被溶蚀残缺不全。前面也提到白云岩的组成矿物中有方解石,图1-13可见细晶白云岩中的方解石细脉。方解石白云岩可能晚于细晶白云岩,而细晶白云岩又多半晚于粗晶白云岩。在西矿区方解石白云岩发育地区的标本中见有具鲕状构造的方解石(图1-14)。除细晶白云石、方解石外,从产状及矿物共生判断,上述晚期矿物的形成顺序大致是:钠闪石→钠辉石→萤石→磁铁矿→独居石。

2.2 粗面质火山岩

矿区粗面质火山岩具微晶-隐晶结构,85%以上的造岩矿物为微斜长石,也常见钠闪石、钠辉石、黑云母、独居石、氟碳铈矿等晚期矿物。岩石自交代现象最明显的是微斜长石化。图1-15为岩石中扭曲的微斜长石细脉。图1-16示岩石中具反应边的微斜长石碎屑,碎屑外缘的反应边是一种后期溶蚀或交代的产物,在晚期生成的微斜长石内尚保存有早期长石晶屑残余。此外,岩石中可见早期微斜长石细脉被更晚期微斜长石-黑云母细脉穿切,脉旁围岩中丛生着晚期黑云母(图1-17)。在有些晚期细脉中还见有黑云母、萤石、稀土矿物、磁铁矿及微斜长石等(图1-18)。

3 成因意义

岩石的自交代作用指的是岩浆岩本身的一种蚀变交代作用,常见于浅成的矿化花岗岩及喷出的矿化流纹岩中。我国南方一些W、Sn、Nb、Ta、REE矿化花岗岩及Be、REE矿化流纹岩中常见有这种自交代现象,如钾长石化、钠长石化、云英岩化、黄玉化、萤石化以及硅化、绢云母化等。自交代蚀变多见于岩体顶部,蚀变矿物在岩石中呈浸染状或细脉浸染状分布,蚀变岩石具溶蚀、穿插、假像及变晶等结构。这些现象在一般沉积岩或沉积变质岩中是见不到的,其他地区的白云岩和板岩也未见有类似的报道。本文所述白云岩和粗面质火山岩中的早期矿物被晚期矿物挤压、穿插、溶蚀、交代,均属自交代现象,因为所见到的交代矿物与外部或深部的成岩成矿作用没有直接联系。以上列举的细脉宽度一般不到1mm,长度也不大,延长不远就在岩石本身尖灭,镜下见到的细脉都是岩浆本身发展演化的产物。白云鄂博矿区赋矿岩石的自交代现象说明白云岩和粗面质火山岩多半是岩浆活动的产物,是岩浆岩。

与矿化花岗岩及矿化流纹岩的成因类似,矿区细晶白云岩的形成可看作是粗晶白云岩岩浆先期冷凝固结、含矿碳酸岩岩浆进一步演化、挥发及成矿元素进一步富集的结果。富含大量挥发分的碳酸岩岩浆,一方面继续冷凝固结形成细晶白云岩,一方面交代溶蚀已固结的粗晶白云岩。伴随着细晶白云石交代粗晶白云石、钠闪石、萤石等也相继蚀变交代粗晶白云石。细晶白云岩富含大量F、H₂O、CO₂等挥发分(表1),形成岩石的岩浆不同于一般的硅酸盐岩

浆,而是一种特殊性质的碳酸岩岩浆。这种岩浆可能呈熔体-溶液的过渡状态或混合状态存在。

粗晶白云岩是碳酸岩岩浆结晶早期阶段的产物,细晶白云岩是岩浆演化晚期熔体-溶液阶段结晶的产物,这一认识已有其他学者做过类似的论证。Smith等(2000)通过白云鄂博矿床不同产状稀土矿物的La/Nd值研究,认为早晚不同产状的稀土矿物形成于不同状态和性质的流体。在此认识基础上,王凯怡(2002)等通过对矿区碳酸岩墙岩石的(La/Nd)_n、(La/Y)_n、(La/Yb)_n值研究认为早期碳酸岩岩墙的形成相应于早期岩浆阶段,晚期碳酸岩岩墙的形成相应于岩浆演化的晚期热液阶段。Le Bas等(1997)通过对岩石O、C、Sr同位素研究,得出白云鄂博群沉积石灰岩和白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 约为+20‰, $\delta^{13}\text{C}$ 约为0 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) > 0.710。矿区粗晶白云岩 $\delta^{18}\text{O}$ = +8‰ ~ +12‰, $\delta^{13}\text{C}$ = -5‰ ~ -13‰, 细晶白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ = +12‰ ~ +16‰, $\delta^{13}\text{C}$ = -4‰ ~ 0‰。两类白云岩的($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 值均小于0.704。因此认为,粗晶白云岩是火成碳酸岩,细晶白云岩是在矿化溶液影响下晶出的。

矿区粗面质火山岩的结构构造、化学组成以及大量发育的自交代现象说明岩石是由粗面质岩浆冷凝固结形成的,其中晚期蚀变交代矿物是由粗面质岩浆本身分出的富K熔体-溶液或富K热液溶蚀交代早期矿物形成的,它们分属于同一岩浆演化的早、晚阶段。粗面质火山岩不是沉积变质的泥质岩石。

References

- Bai Ge and Yuan Zhongxin. 1985. Carbonatites and Related Mineral Resources [M]. Beijing : Geological Publishing House , 107 ~ 140 (in Chinese).
- Bai Ge, Yuan Zhongxin, Wu Chengyu, *et al.* 1996. Demonstration on the Geological Features and Genesis of the Bayan Obo Ore Deposit [M]. Beijing : Geological Publishing House , 62 ~ 65 (in Chinese).
- Cai Xiucheng, Fu Yude and Tang Rongbing. 1984. The types and genetic significance of calcite in Bayan Obo ore field, Nei Monggol, China [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2 : 160 ~ 166 (in Chinese with English abstract).
- Chao E T C, Back J M, Minkin J A, *et al.* 1992. Host-rock controlled epigenetic hydrothermal metasomatic origin of the Bayan Obo REE-Fe-Nb ore deposit, Inner Mongolia, PRC [J]. Appl. Geochem, 7 : 443 ~ 456.
- Hou Zonglin. 1989. The Bayan Obo Fe-Nb-REE deposit : its basic geological features, metallogenesis and genetical mode [J]. Geology and

Prospecting, 25(7):1~5(in Chinese).

Le Bas M J , Keller J , Tao K , *et al.* 1992. Carbonatite dykes at Bayan Obo , Inner Mongolia , China[J]. Mineralogy and Petrology , 47 :195 ~228.

Le Bas M J , Spiro B and Yang Xueming. 1997. Oxygen , carbon and strontium isotopes study of the carbonatic dolomite host of the Bayan Obo Fe-Nb-REE deposit , Inner Mongolia , N. China[J]. Mineralogical Magazine , 61(4) 531 ~541.

Liu Tiegeng. 1986. A discussion on the genesis of dolomite in Bayan Obo , Inner Mongolia—emphasis on the composition of oxygen and carbon isotopes[J]. Geological Review , 32(2) :150 ~159(in Chinese with English abstract).

Meng Qingchang. 1981. Genetic features of the Bayan Obo carbonatitic deposit[J]. Geology and Prospecting , 3 :10 ~17(in Chinese).

Meng Qingrun. 1982. The genesis of the host rock—dolomite of the Bayan Obo iron ore deposit and the analysis of its sedimentary environment[J]. Geological Review , 28(15) : 481 ~ 489(in Chinese with English abstract).

Smith M P , Henderson P and Camball L S. 2000. Fractionation of the REE during hydrothermal processes : constraints from the Bayan Obo Fe-REE-Nb deposit , Inner Mongolia , China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 64(18) :3 141 ~ 3 160.

Wang Ji , Li Shuangqing , Wang Baoliang , *et al.* 1992. The Langshan-Baiyunebo Rift System[M]. Beijing : Peking University Press , 10 ~ 50(in Chinese).

Wang Kaiyi , Fan Hongrui and Xie Yihan. 2002. Geochemistry of REE and other trace elements of the carbonatite dykes at Bayan Obo : implication for its formation[J]. Acta Petrologica Sinica , 18(3) 340 ~ 348(in Chinese with English abstract).

Xiao Rongge , Zhang Hancheng , Chen Huiquan , *et al.* 2001. Hydrothermal sedimentary rock and indicators of minerals and rocks[J]. Earth Science Frontiers , 8(4) :379 ~385(in Chinese with English abstract).

Yuan Zhongxin , Bai Ge , Wu Chengyu , *et al.* 1995. Petrological features of volcanic rocks in H9 formation of the Bayan Obo ore district , Inner Mongolia and their significance[J]. Mineral Deposits , 14(3) : 197 ~205(in Chinese with English abstract).

Yuan Zhongxin , Bai Ge and Zhang Zongqing. 2000. Trachyte rock and associated fenitization in the Bayan Obo ore deposit , Inner Mongolia , China : evidence for magmatic – hydrothermal mineralization related to a carbonatitic complex[J]. Acta Geologica Sinica , 74(2) :148 ~ 153.

Zhang Peishan , Tao Kejie and Yang Zhuming. 1991. New advances in the minerlogical and petrological study of the Bayan Obo ore deposit [J]. Acta Petrologica et Mineralogica , 10(3) :265 ~270 (in Chinese with English abstract).

Zhou Zhenling , Li Gongyuan , Song Tongyun , *et al.* 1980. On the geological characters and genesis of the dolomitic carbonatites at Bayan Obo , Inner Mongolia[J]. Geological Review , 26(1) : 35 ~ 41(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

白 鸽 ,袁忠信. 1985. 碳酸岩地质及其矿产[M]. 北京 :地质出版社 ,107 ~140.

白 鸽 ,袁忠信 ,吴澄宇 ,等. 1996. 白云鄂博矿床地质特征和成因论证[M]. 北京 :地质出版社 ,62 ~65.

蔡秀成 ,富毓德 ,唐荣炳. 1984. 白云鄂博地区方解石的类型和成因意义[J]. 矿物学报 , 2 :160 ~166.

侯宗林. 1989. 白云鄂博铁-铌-稀土矿床基本地质特征、成矿作用、成矿模式[J]. 地质与勘探 , 25(7) :1 ~5.

刘铁庚. 1986. 白云鄂博白云岩氧、碳同位素组成及其成因讨论[J]. 地质论评 , 32(2) :150 ~159.

孟庆昌. 1981. 与碳酸岩有关的白云鄂博矿床的成因[J]. 地质与勘探 , 3 :10 ~17.

孟庆润. 1982. 论白云鄂博铁富含矿围岩——白云岩的沉积成因及其沉积环境分析[J]. 地质论评 , 28(15) :481 ~489.

王 楫 ,李双庆 ,王保良 ,等. 1992. 狼山-白云鄂博裂谷系[M]. 北京 :北京大学出版社 ,10 ~50.

王凯怡 ,范宏瑞 ,谢奕汉. 2002. 白云鄂博碳酸岩墙稀土和微量元素地球化学及其对成因的启示[J]. 岩石学报 , 18(3) 340 ~348.

肖荣阁 ,张汉成 ,陈卉泉 ,等. 2001. 热水沉积岩及矿物岩石标志[J]. 地学前缘 , 8(4) 379 ~385.

袁忠信 ,白 鸽 ,吴澄宇 ,等. 1995. 内蒙白云鄂博矿区 H9 中火山岩岩石特征及其意义[J]. 矿床地质 , 14(3) :197 ~205.

张培善 ,陶克捷 ,杨主明. 1991. 白云鄂博矿物岩石研究的新进展[J]. 岩石矿物学杂志 , 10(3) :265 ~270.

周振玲 ,李功元 ,宋同云 ,等. 1980. 内蒙古白云鄂博白云石碳酸岩的地质特征及其成因探讨[J]. 地质论评 , 26(1) 35 ~41.