

白云鄂博矿床形成于不同时代的信息

——矿床西矿体的年龄和讨论

张宗清¹ 唐索寒¹ 王进辉¹ 袁忠信² 白 鸽²

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

提要:白云鄂博铁-铌-稀土矿床的成矿时代长期争论。笔者报道了采自矿床西矿体铌-稀土-铁矿石样品和白云岩样品的 Sm-Nd 等时年龄和 Rb-Sr 等时年龄。Sm-Nd 等时年龄为 809 ± 80 (2σ)Ma, $I_{Nd} = 0.511182 \pm 34(2\sigma)$, MSWD 1.10; Rb-Sr 等时年龄近似于 $391 \pm 97(2\sigma)$ Ma, $I_{Sr} = 0.70453 \pm 72(2\sigma)$, MSWD 47。西矿 Sm-Nd 等时年龄与矿床主、东矿相同年代学方法年龄不同。白云鄂博矿床可能形成于中、新元古代,并在早古生代加里东期遭受过后期地质作用改造。西矿同主、东矿一样,在加里东期,铁矿石和白云岩的 Sr 同位素系统发生过扰动或再置。

关键词: 年龄; 西矿; 白云鄂博矿床

中图分类号: P597+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2003)02-0130-08

位于中朝克拉通北部边缘的白云鄂博铁-铌-稀土矿床是中国最大的稀土矿床,也是世界上已发现的最大稀土矿床,对其研究具有十分重要的理论意义和实际意义。自 20 世纪 50 年代起,中国对白云鄂博矿床组织过多次综合研究,取得极其丰富资料。但是由于成矿地质作用复杂,其形成年龄和成因至今仍然是一个争论问题。一般认为,矿床形成于中元古代,或早古生代,而且整个矿床形成于一个时期。已发表的大多数资料表明,矿床形成于中元古代^[1-10]。然而,新近笔者对白云鄂博矿床西矿体(简称西矿,下同)的年代学工作表明,矿床可能形成于不同时期。白云鄂博矿床西矿与主东矿不同,可能形成于新元古代。笔者报道了所获得的西矿铌-稀土-铁矿石样品和白云岩样品的主、微量元素和同位素年龄测定结果。

1 矿区地质概况和样品地球化学特征

矿区出露地层为古元古代二道洼群和中新元古代白云鄂博群(图 1)。二道洼群分布于矿区东北部,主要由绿泥石石英片岩,角闪斜长片麻岩和石英岩组成。白云鄂博群被划分为 18 个岩性段,由下至上, H₁-H₄ 主要为石英砂岩、长石石英砂岩、石英岩,其上部层位夹有泥灰岩透镜体; H₅ (原划 H₈-H₉ 层位)由白云岩、板岩组成,为主要赋矿层位。

西矿位于白云鄂博矿床(带)西部,宽沟背斜南翼白云复向斜南北两翼(图 1),由 16 个铌-稀土-铁矿体组成。矿体呈层状、透镜状产于白云岩中。矿体与白云岩呈渐变过渡,交替出现,夹黑云母岩。矿体上部黑云母岩、富钾板岩增多,白云岩、黑云母岩、富钾板岩呈互层状产出。铁矿类型较主、东矿简单,主要为白云石型铌-稀土-铁矿石和钠闪石黑云母型铌-稀土-铁矿石。

样品采自西矿 9 号、10 号铁矿体铁矿开采面和 ZK33-2 孔地表。9 号矿体富铁矿石呈钢灰色致密块状,主要由磁铁矿、赤铁矿、钠闪石、白云石、萤石和稀土矿物组成,有时可见重晶石。萤石含量变化大,多数矿石含萤石少,局部可见含萤石多铁矿石,夹白云岩、黑云母岩和富钾板岩。白云岩,中粒镶嵌结构,块状构造,主要由白云石、铁矿物、重晶石和稀土矿物组成。10 号矿,深灰色铌-稀土-铁矿石与白云岩、板岩共存。铁矿石一般为深灰色细粒块状,含萤石少。白云岩有两类,一类为白色纯白云岩,另一类浅黄色纯白云岩。板岩有黑云母板岩和浅色富钾板岩。Zk33-2 孔地表含萤石较多。对致密块状铌-稀土-铁矿石样品和细粒块状白云岩样品作了同位素年代学工作。部分样品主、微量元素组成见表 1。

西矿铌-稀土-铁矿石样品具有不同 Fe 含量,样品 B2086

收稿日期:2003-01-21; 改回日期:2003-02-24

基金项目:国土资源部地质大调查项目(DK2001020-2)资助。

作者简介:张宗清,男,1941年生,研究员,从事同位素地质年代学和地球化学研究工作。

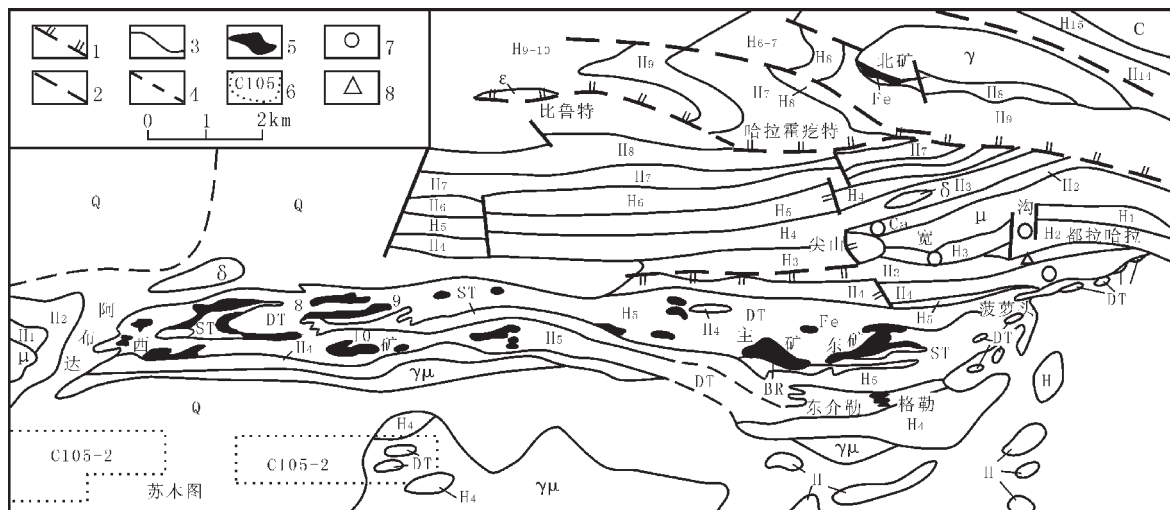


图 1 白云鄂博矿区地质略图(据原地质部 241 地质队 1955 年资料改编)

1—逆掩断层;2—推断层;3—地质界线;4—推断地质界线;5—铁矿体及其编号;6—隐伏磁异常带;7—碳酸盐岩脉;8—灰岩;
H₁~H₁₅—白云鄂博群;C—石炭系;H—白云鄂博群残留体;DT—白云大理岩;ST—板岩;BR—黑云母岩;
ε—变质超基性岩;μ—混合片麻岩;γ—花岗岩;γ_μ—混合岩化花岗岩;δ—中基性岩

Fig. 1 Schematic geological map of the Bayan Obo ore district

1—Overthrust; 2—Inferred fault; 3—Geological boundaries; 4—Inferred geological boundaries; 5—Iron orebodies and their number;
6—Buried magnetic anomalies; 7—Carbonate veins; 8—Limestone lenses; H₁~H₁₅—Bayan Obo Group;
C—Carboniferous; H—Relicts of the Bayan Obo Group; DT—Dolomite marble; ST—Slate; BR—Biotite rock;
ε—Meta-ultrabasic rock; μ—Migmatitic gneisses; γ—Granites; γ_μ—Migmatitic granites; δ—Basic-intermediate rocks

铁氧化物含量接近 79%。样品稀土分布模式见图 2。铈—稀土—铁矿石样品和白云岩样品均具有轻稀土相对重稀土强烈富集分布模式。铈—稀土—铁矿石样品(La)_N838~13 333, (Yb)_N 6~28, (La/Yb)_N140~522; 白云岩样品(La)_N374~8 253, (Yb)_N 2.4~17.7, (La/Yb)_N156~691, 稀土分馏程度类似。具弱 Eu 负异常或无 Eu 异常。原始地幔标准化微量元素分布模式见图 3。铈—稀土—铁矿石样品和白云岩样品 K、Ba、Sr、Zr、Ti 相对 Ba、Th、Nb、REE 呈现大的负异常, Y 也显示小的负异常。部分样品 K、Zr、Ti 的含量比原始地幔值还低。

西矿铈—稀土—铁矿石样品和白云岩样品的 P₂O₅-La、Ce-La、Nd-Sm、Sr-Eu、Hf-Zr 和 Rb-K 之间的关系见图 4。可以看出, 它们均大致呈对数线性关系。这表明, 虽然白云岩和铈—稀土—铁矿石样品具有不同主元素含量, 铁的富集程度不同, 但是它们可能是同一源区通过相同成因方式形成的。

2 西矿铈—稀土—铁矿石和白云岩样品同位素年龄测定结果

2.1 分析方法

样品同位素分析在中国地质科学院地质研究所同位素地质年代学实验室内完成。分析流程见文献[9]。Rb、Sr、Sm、Nd 含量测定用同位素稀释法。质量分馏用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 和

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=8.37521$ 校正。J.M.Nd₂O₃ 测定结果 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.511125\pm9$ (2σ), GBW04419 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512725\pm7$ (2σ), NBS987 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71025\pm2$ (2σ)。流程空白 Rb、Sr 为 10⁻¹⁰g, Sm、Nd 为 10⁻¹¹g。

年龄用 Ludwig ISOPLOT 程序采用误差 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 0.5%, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 0.006% 和 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 1%, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.05% 计算。

2.2 Sm-Nd 年龄同位素分析结果

对采自西矿 9 号铁矿体和 10 号铁矿体的 6 个铈—稀土—铁矿石样品和 4 个白云岩样品进行了 Sm-Nd 年龄同位素分析(表 2), 由图 5 可以看出, 除铈—稀土—铁矿石样品 B2080 和白云岩样品 B2084 外, 其余样品均位于一条等时线上。等时年龄 $t=809\pm80$ (2σ)Ma, $I_{\text{Nd}}=0.511182\pm34$ (2σ)Ma, MSWD 1.10。Nd 模式年龄 $t_{\text{CHUR}}1138\sim1509$ Ma, 11 个样品平均值 1261 ± 96 (σ), $t_{\text{DM}}1480\sim2000$ Ma, 平均值 1627 ± 136 (σ)Ma。

2.3 Rb-Sr 年龄同位素分析结果

对采自西矿 9 号铁矿体和 10 号铁矿体及 ZK33-2 钻孔地表的 11 个铈—稀土—铁矿石样品和 5 个白云岩样品进行了 Rb-Sr 年龄同位素分析(表 3)。可以看出, 除 B2075 样品外, 其余样品 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值都低于 0.3987。B2075 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 1.991。而 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.71553, 其余样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值都低于 0.70792, 最小值为 B2084 白云岩样品的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比

表 1 白云鄂博矿床西矿体-稀土-铁矿石和白云岩样品主、微量元素组成

Table 1 Major and trace element compositions of Nb-REE-Fe ore and dolomite samples for the west ore bodies in the Bayan Obo deposit

样 品	B9451	B9452	B9453	B2076	B2086	B2082	B2084	B9450
SiO ₂ ×10 ⁻²	3.25	15.78	27.93	12.75	7.34	2.03	0.25	11.72
TiO ₂	0.06	0.13	0.14	0.04	0.23	0.01	0.01	0.07
Al ₂ O ₃	1.01	5.27	0.64	0.68	0.10	0.39	0.01	0.90
Fe ₂ O ₃	11.42	15.01	13.56	40.41	68.11	3.90	0.98	17.58
FeO	0.23	4.40	4.15	14.82	11.20	5.35	7.24	0.01
MnO	1.02	1.16	1.40	6.86	3.45	1.07	2.41	2.18
MgO	1.55	9.75	7.75	5.28	1.39	16.58	16.72	7.26
CaO	53.49	23.74	21.62	6.78	2.86	26.96	27.29	30.58
Na ₂ O	0.17	0.16	3.81	1.05	0.06	0.13	0.09	1.06
K ₂ O	0.69	4.00	0.68	0.95	0.01	0.39	0.02	1.06
P ₂ O ₅	1.02	4.64	0.46	-	-	0.03	0.78	0.57
H ₂ O	0.84	1.62	1.90	1.50	1.96	0.90	0.66	1.48
CO ₂	0.89	4.73	11.62	7.32	3.21	41.61	42.50	23.27
F	42.22	10.09	3.84	-	-	0.12	0.03	1.87
Cr×10 ⁻⁶	13	18	24	32	27	12	4	8
Ni	31	28	54	22	23	17	12	39
Co	15	18	7	30	21	7	5	25
Sc	7	46	80	30	12	7	16	49
Pb	538	43	293	1300	3500	184	561	1500
Zn	374	345	539	693	976	224	498	789
Rb	19	83	8	28	7	14	1	24
Ba	1300	2200	494	3900	1500	924	193	2500
Sr	962	808	1700	296	914	3600	2300	732
Ta	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4
Nb	268	333	176	150	426	20	8.6	255
Hf	2.0	1.2	1.7	2.7	0.6	0.2	0.5	1.5
Zr	22	16	23	37	3	2	1	27
Y	40	97	50	107	26	12	49	66
Th	296	336	128	1100	205	27	392	60
U	1.6	5.1	1.3	0.2	1.3	0.3	0.2	7.2
La	2300.00	4200.00	979.80	1200.00	264.60	114.00	2600.00	1100.00
Ce	5200.00	8500.00	2100.00	5700.00	1600.00	291.60	7500.00	2800.00
Pr	600.00	9000.00	217.40	983.30	316.00	39.46	996.00	331.50
Nd	1900.00	3000.00	735.10	4400.00	1500.00	166.30	3500.00	1300.00
Sm	96.48	300.00	69.31	384.00	135.10	19.45	266.00	172.80
Eu	21.91	43.08	15.87	81.79	28.82	4.67	39.00	40.30
Gd	83.42	215.00	59.54	184.10	56.26	11.53	228.00	11.80
Tb	4.51	2.44	4.32	12.55	4.31	1.18	15.00	8.57
Dy	11.20	31.09	12.58	21.98	4.55	3.79	70.00	25.06
Ho	2.79	5.84	2.57	8.07	2.54	0.76	2.00	4.50
Er	12.07	26.05	8.87	31.67	10.36	1.97	16.00	13.82
Tm	1.16	2.78	0.95	2.81	0.65	0.18	0.26	1.24
Yb	2.90	5.79	3.36	4.15	1.27	0.61	1.59	3.69
Lu	0.30	0.50	0.40	0.40	0.10	0.10	0.25	0.19

注：微量元素分别用 XRF、ICP-MS 方法分析，由中国地质科学院矿产资源研究所测试完成；样品 B2082、B2084、B9450 为白云岩样品，其余为铌-稀土-铁矿石样品。

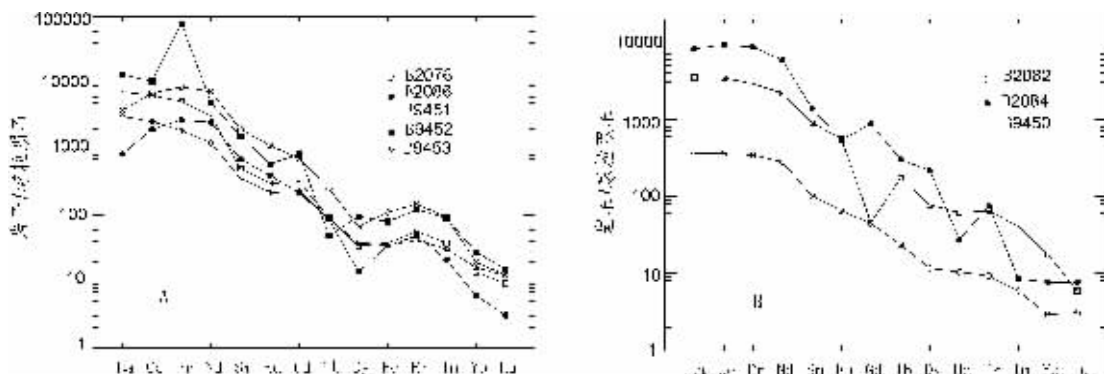


图 2 白云鄂博矿床西矿钨-稀土-铁矿石样品(A)和白云岩样品(B)稀土分布模式
(用 Leedy/1.2 球粒陨石值标准化^[11])

Fig.2 REE Patterns of Nb-REE-Fe ore samples(A) and dolomite samples(B) for the west ore bodies in the Bayan Obo deposit

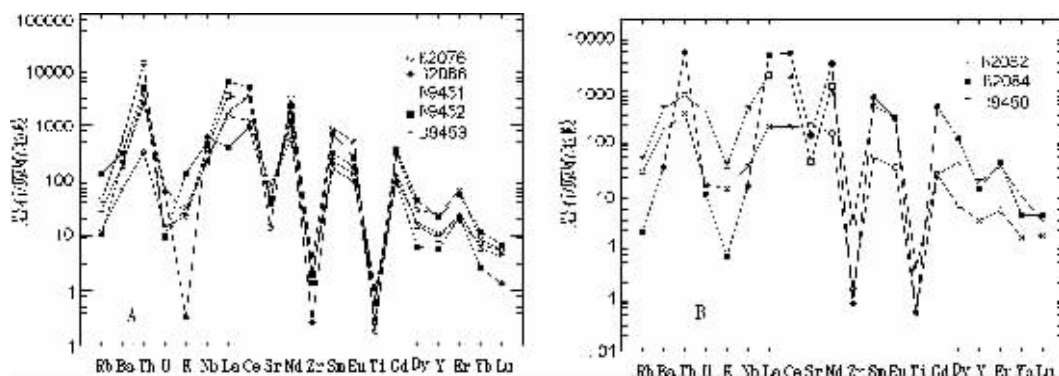


图 3 白云鄂博矿床西矿钨-稀土-铁矿石样品(A)和白云岩样品(B)原始地幔标准化微量元素分布模式
(用 Sun and McDonough 原始地幔数据标准化^[12])

Fig.3 Spidergrams of Nb-REE-Fe ore samples(A) and dolomite samples(B) for the west ore bodies in the Bayan Obo deposit

表 2 白云鄂博矿床西矿钨-稀土-铁矿石样品和白云岩样品 Sm-Nd 年龄同位素分析结果

Table 2 Sm-Nd isotopic analytical results of Nb-REE-Fe ore samples and dolomite samples for the west ore bodies in the Bayan Ob deposit

样号	样品类型和采样地点	Sm/10 ⁻⁶	Nd/10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2σ	t _{CHUR} /Ma	t _{DM} /Ma
B2075	灰色块状铁矿石,含多量黄铁矿,9号矿体	1.164 4×10 ²	1.382 2×10 ³	0.050 96	0.511 473	8	1 219	1 567
B2076	灰色块状铁矿石,含萤石,9号矿体	3.031 8×10 ²	3.571 3×10 ³	0.051 35	0.511 440	9	1 257	1 602
B2079	白云岩,9号矿体	2.404 8×10 ²	3.328 1×10 ³	0.043 71	0.511 419	8	1 215	1 549
B2080	灰色块状铁矿石,含多量萤石,9号矿体	4.754 8×10 ²	5.386 6×10 ³	0.053 40	0.511 555	12	1 151	1 514
B2081	黑云母型铁矿石,9号矿体	1.517 6×10 ²	1.544 7×10 ³	0.059 43	0.511 496	6	1 269	1 630
B2082	白色白云岩,10号矿体	2.486 6×10 ¹	2.057 4×10 ²	0.073 11	0.511 556	8	1 335	1 723
B2083	白色白云岩,10号矿体	2.205 6×10 ²	1.988 2×10 ³	0.067 10	0.511 541	8	1 291	1 669
B2084	黄绿色白云岩,10号矿体	1.864 4×10 ²	2.570 2×10 ³	0.043 88	0.511 498	8	1 138	1 480
B2085	深灰色块状贫铁矿石,10号矿体	8.347 0×10 ¹	1.153 7×10 ³	0.043 76	0.511 430	6	1 204	1 539
B2086	深灰色块状富铁矿石,10号矿体	1.110 6×10 ²	1.238 7×10 ³	0.054 23	0.511 444	8	1 278	1 627
B2088	黑云母型铁矿石,10号矿体	3.617 2×10 ¹	2.013 6×10 ²	0.108 7	0.511 767	8	1 509	2 000

注: 相对球粒陨石地幔和亏损地幔 Nd 模式年龄值 t_{CHUR} 和 t_{DM} 分别用下面公式计算: t_{CHUR}=1/λln {1+[(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_s-0.512638]/[(¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_s-0.1967]} ; t_{DM}=1/λln{1+[(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_s-0.51315]/[(¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_s-0.2137]}。式中角标 s 代表样品值,λ 为 ¹⁴⁷Sm 衰变常数 6.54×10⁻¹² 年⁻¹。

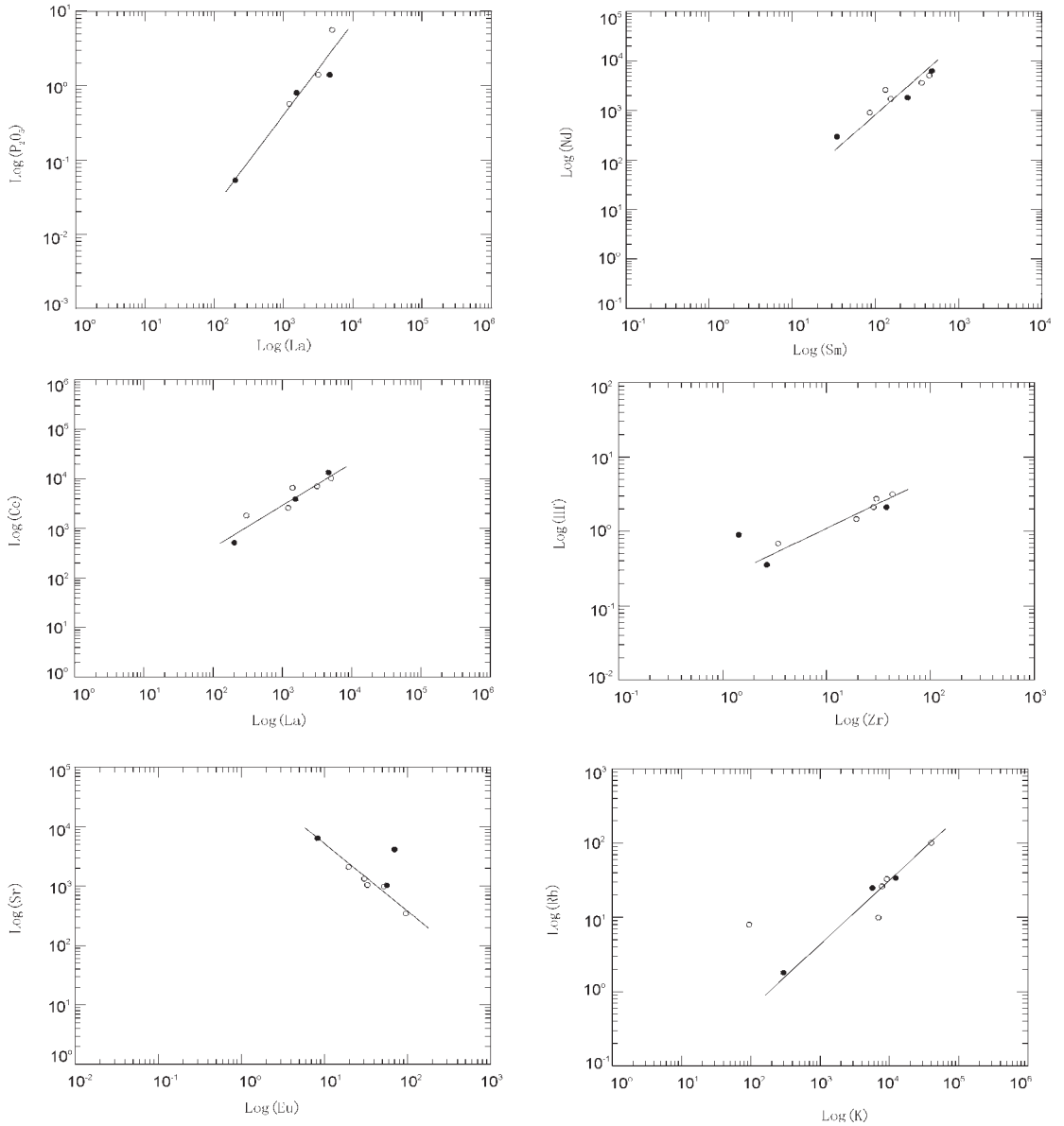


图 4 白云鄂博矿床西矿铌-稀土-铁矿石样品和白云岩样品 P_2O_5 -La、Ce-La、Nd-Sm、Sr-Eu、Hf-Zr、Rb-K 关系
 Fig.4 P_2O_5 -La, Ce-La, Nd-Sm, Sr-Eu, Hf-Zr, Rb-K diagram of Nb-REE-Fe ore samples and dolomite samples for the west ore bodies in the Bayan Obo deposit

值 0.70281。从表 3 还可以看出,多数白云岩样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值比铌-稀土-铁矿石样品值要低。5 个白云岩样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 分析比值均低于 0.70648,其中 4 个样品低于 0.70458。采自西矿 10 号铁矿体的 3 个白云岩样品(B2082、B2083、B2084)的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值为 0.70281~0.70318,平均值 0.70304 \pm 17(σ)。其值大小与现代大洋玄武岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值类似,与主、东矿、菠萝头白云岩 Sr 同位素组成也十分一致^[11]。铌-稀土-铁矿石样品和白云岩样品计算的 Rb-Sr 等时年龄为 391 \pm 97 (2 σ)Ma, $I_s=0.70453\pm 72(2\sigma)$, MSWD 47(图 6)。若仅由 11 个铌-稀土-铁矿石样品计算,等时年龄 $t=376\pm 58(2\sigma)$ Ma, $I_s=$

0.70507 $\pm 52(2\sigma)$, MSWD 14。

3 讨论

3.1 白云鄂博矿床西矿铌-稀土-铁矿石、白云岩样品 Sm-Nd 等时年龄的地质意义

白云鄂博矿床形成年龄长期争论。自 20 世纪 50 年代末中苏地质学家对白云鄂博矿床开展同位素年代学研究以来,已有几十年历史。在这期间,特别近十多年间,随着年代学方法的进步,已积累大量不同同位素年代学方法的年龄数据。但是由于矿床经历过多期地质作用,所获得的年龄数据十分

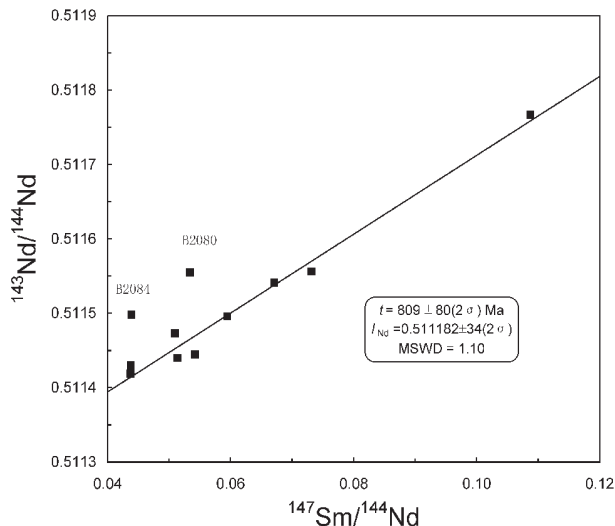


图 5 白云鄂博矿床西矿钕-稀土-铁矿石样品和白云岩样品 Sm-Nd 等时年龄

Fig.5 Sm-Nd isochron diagram of Nb-REE-Fe ore samples and dolomite samples for the west ore bodies in the Bayan Obo deposit

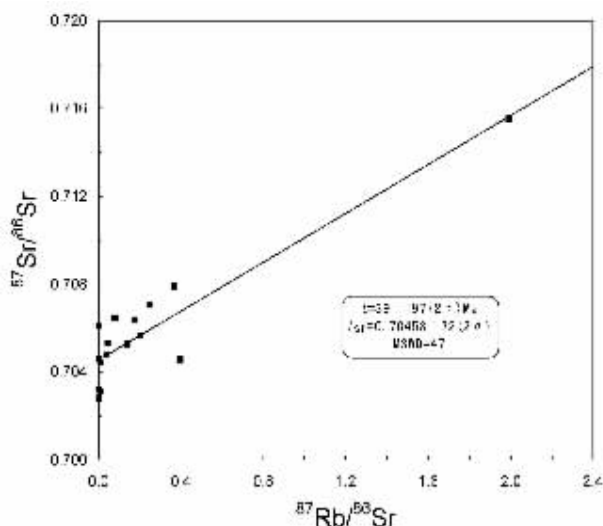


图 6 白云鄂博矿床西矿钕-稀土-铁矿石样品和白云岩样品 Rb-Sr 等时年龄

Fig.6 Rb-Sr isochron diagram of Nb-REE-Fe ore samples and dolomite samples for the west ore bodies in the Bayan Obo deposit

表 3 白云鄂博矿床西矿钕-稀土-铁矿石和白云岩样品 Rb-Sr 年龄同位素分析结果

Table3 Rb-Sr isotopic analysis of Nb-REE-Fe ore samples and dolomite samples for the west ore bodies in the Bayan Ob deposit

样号	样品类型和采样地点	Rb/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	±2σ
B9448	白云岩,ZK33-2 地表	4.864×10 ²	3.533×10 ³	3.987×10 ⁻¹	0.704 58	1
B9450	白云岩,ZK33-2 地表	2.428×10 ¹	8.704×10 ²	8.077×10 ⁻²	0.706 48	1
B9451	萤石型铁矿石,ZK33-2 地表	1.738×10 ¹	1.104×10 ³	4.556×10 ⁻²	0.705 30	2
B9452	萤石黑云母型铁矿石,ZK33-2 地表	7.768×10 ¹	9.099×10 ²	2.472×10 ⁻¹	0.707 04	1
B9453	钠闪石萤石型铁矿石,ZK33-2 地表	1.334×10 ²	1.904×10 ³	2.028×10 ⁻¹	0.705 64	2
B2075	灰色块状铁矿石,含多量黄铁矿,9 号矿体	2.344×10 ¹	3.410×10 ¹	1.991	0.715 53	1
B2076	灰色块状铁矿石,含萤石,9 号矿体	2.240×10 ¹	3.691×10 ²	1.757×10 ⁻¹	0.706 39	1
B2080	灰色块状铁矿石,含多量萤石,9 号矿体	6.727×10 ⁻¹	1.118×10 ³	1.742×10 ⁻³	0.704 59	1
B2081	黑云母型铁矿石,9 号矿体	5.213×10 ¹	1.057×10 ³	1.428×10 ⁻¹	0.705 27	2
B2082	白色白云岩,10 号矿体	1.167×10 ¹	3.278×10 ³	1.031×10 ⁻²	0.703 13	1
B2083	白色白云岩,10 号矿体	2.548×10 ⁻¹	3.569×10 ³	2.067×10 ⁻¹	0.703 18	1
B2084	黄绿色白云岩,10 号矿体	3.758×10 ⁻¹	2.595×10 ³	4.194×10 ⁻¹	0.702 81	1
B2085	深灰色块状贫铁矿石,10 号矿体	7.718 ?	5.484×10 ²	4.075×10 ⁻²	0.704 81	1
B2086	深灰色块状富铁矿石,10 号矿体	4.419×10 ⁻¹	9.630×10 ²	1.329×10 ⁻³	0.706 12	1
B2087	灰色块状贫铁矿,10 号矿体	1.678×10 ¹	4.314×10 ³	1.126×10 ⁻²	0.704 44	1
B2088	黑云母型铁矿石,10 号矿体	7.691×10 ¹	6.090×10 ²	3.657×10 ⁻¹	0.707 92	1

分散。由于对这些数据的地质意义的认识差异,致使对该矿床的形成年龄至今仍未有统一认识。一种意见认为,矿床形成于中元古代,已获得年龄介于 1 728~1 000 Ma^[1-10];另一种意见认

为矿床形成于古生代加里东期,年龄 532~478 Ma^[13,14];第三种意见介于两者之间,认为早中元古代和古生代加里东期都成矿,是多期次的^[5,15]。大量同位素年代学资料表明,白云

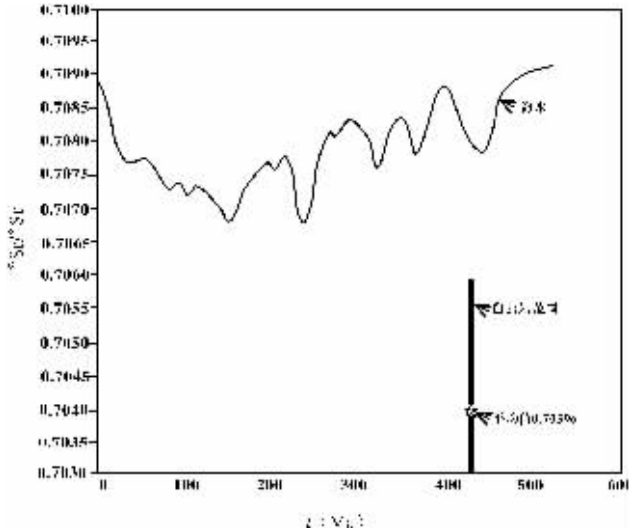


图7 白云鄂博矿床白云岩样品与显生宙海水 Sr 同位素比较
(白云岩样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(420\text{Ma})$ 值据参考文献[11]数据计算,
海水 Sr 同位素演化曲线引自参考文献[17])

Fig.7 Sr isotopic comparison between dolomite samples in the Bayan Obo deposit and Phanerozoic seawater

鄂博矿床主、东矿形成于中元古代,采自主、东矿的铈-稀土-铁矿石样品的 Sm-Nd 等时年龄为 $1286 \pm 91 \text{ Ma}$ ^[6],由主、东矿铈-稀土-铁矿石样品分选的独居石-氟碳铈矿样品得到的 Sm-Nd 等时年龄为 $1313 \pm 41 \text{ Ma}$ ^[9],主、东矿上部 H_2 (原划 H_3) 富钾板岩的 Sm-Nd 等时年龄为 $1096 \pm 56 \text{ Ma}$,暗色板岩的 Sm-Nd 等时年龄为 $1208 \pm 123 \text{ Ma}$ ^[9]。Naka 等^[10]报道的 La-Ba、Sm-Nd 等时年龄为 $1350 \pm 149 \text{ Ma}$ 和 $1426 \pm 40 \text{ Ma}$,采自主、东矿和菠萝头的白云岩样品的 Sm-Nd 等时年龄为 $1273 \pm 100 \text{ Ma}$ ^[10],等等。然而,由西矿采集的铈-稀土-铁矿石样品和白云岩样品得到的 Sm-Nd 等时年龄确为 $809 \pm 80(2\sigma) \text{ Ma}$,相应的 $I_{\text{Nd}} = 0.51182 \pm 34(2\sigma)$, MSWD 1.10。主、东矿和西矿位于同一矿区,具有相同变质相——绿片岩相变质作用,它们的年龄差异明显表明,主、东矿和西矿可能形成于不同时代。白云鄂博矿床东西长约 18 km,整个矿床是不是形成于一个时期值得深入研究。西矿铈-稀土-铁矿石样品和白云岩样品的 Sm-Nd 等时年龄给予了这方面的信息。

3.2 加里东期年龄数据是白云鄂博矿床形成后遭受强烈地质作用被改造时间

白云鄂博矿床主、东矿存在大量加里东期年龄数据,年龄范围集中在 460~400 Ma 间。Chao 等^[11]和乔秀夫等^[12]认为该期是白云鄂博矿床形成时代。笔者不赞同这种认识。主、东矿存在的大量加里东期年代学数据可能代表矿床形成后遭受强烈地质作用矿床被改造时间,理由是:(1)加里东期年龄数据主要由 Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学方法、矿物 Th-Pb 年代学方法获得,Rb-Sr、 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素系统抗后期热事件能力

低,在遭受较强地质作用时,系统易再置,它们代表的年龄一般是矿床遭受后期地质作用同位素系统被再置时间。对于 Th-Pb 同位素系统,Th 在后期地质作用中比较稳定,但是系统中的 Pb 在遭受后期地质作用时易于丢失,使 Th-Pb 年龄变年轻,经常存在模式年龄 $t(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) > t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) > t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) > t(^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th})$ 顺序;(2)矿床白云岩 Sr 同位素组成也不赞同矿床形成于早古生代加里东期。主、东矿、菠萝头白云岩样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 现代比值为 $0.7044 \pm 4(2\sigma)$ ^[10],远远低于显生宙海水最低值 0.7068(图 7)。矿床形成于加里东期,比值应更低。如果白云鄂博矿床形成于海陆过渡浅海相封闭半封闭蒸发湖坪泻湖环境^[14],水体 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值还要高。由西矿同位素年龄测定结果也证实加里东期是白云鄂博矿床形成后遭受后期地质作用时间。西矿 Sm-Nd、Rb-Sr 年龄测定样品相同,而结果大相径庭,前者年龄为新元古代,后者为早古生代加里东期,年龄近似为 391 Ma, $I_{\text{Nd}} 0.70453 \pm 72(2\sigma)$ 。这明显表明,Rb-Sr 年龄是矿床样品遭受后期地质作用 Sr 同位素系统被再置时间。

参考文献 (References):

- [1] 中国科学院地球化学研究所. 白云鄂博矿床地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 437~468.
Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science. Geochemistry of Bayan Obo ore deposits [M]. Beijing: Science Press. 1988. 437~468 (in Chinese).
- [2] Nakai S, Masuda A, Ahimizu H, et al. La-Ba dating and Nd and Sr isotope studies on the Bayan Obo rare earth element ore deposit, Inner Mongolia, China [J]. Econ. Geol., 1989, 84: 2296~2299.
- [3] 袁忠信, 白鸽, 吴澄宇, 等. 内蒙白云鄂博铈-稀土-铁矿石床的成矿时代和矿床成因[J]. 矿床地质, 1991, 10: 59~70.
Yuan Zhongxin, Bai Ge, Wu Chengyu, et al. Metallogenic epoch and genesis of the Bayan Obo Nb-REE-Fe deposit, Inner Mongolia [J]. Mineral Deposits, 1991, 10: 59~70 (in Chinese with English abstract).
- [4] Conrad J E, Mckee E H. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of vein amphibole from the Bayan Obo iron-rare earth element-niobium deposit, China: constraints on mineralization and deposition of the Bayan Obo Group [J]. Econ. Geol. 1992, 87: 185~188.
- [5] 任英忱, 张英臣, 张宗清. 白云鄂博稀土超大型矿床的成矿时代及其主要地质热事件[J]. 地球学报, 1994, 30~31(1~2): 95~101.
Ren Yingchen, Zhang Yingchen, Zhang Zongqing. Study on heat events of ore-forming Bayan Obo deposit [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1994, 1~2: 95~101 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 等. 白云鄂博稀土矿床形成年龄的新数据 [J]. 地球学报, 1994, 30~31(1~2): 85~94.
Zhang Zongqing, Tang Suohan, Wang Jinhuai, et al. New data for ore-forming age of the Bayan Obo REE ore deposit, Inner Mongolia [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1994, 1~2: 85~94 (in Chinese with English abstract).

- [7] Tu Guangzhi. Factors constraining the formation of the superlarge Bayan Obo REE-Fe-Nb deposit [C]. 30 th IGC(abs), 1996, 2: 786
- [8] 张宗清,唐索寒,陈启桐,等.白云鄂博矿区 H_2 变质岩的 Sm-Nd 年龄、成因及与成矿关系[J]. 地球学报, 1997, 18: 267~273.
Zhang Zongqing, Tang Suohan, Chen Qitong, et al. Sm-Nd ages and origins of metamorphic rocks for the H_2 formation in the Bayan Obo ore district and relationship with the ore forming event [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18: 268~273 (in Chinese with English abstract).
- [9] 白鸽,袁忠信,等.白云鄂博矿床地质特征和成因论证[M]. 北京:地质出版社, 1996. 68~81.
Bai Ge, Yuan Zhongxin, et al. Demonstration on the geological features and genesis of the Bayan Obo ore deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 68~81 (in Chinese in with English abstract).
- [10] 张宗清,唐索寒,袁忠信,等.白云鄂博矿床白云岩的 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素体系[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 637~642.
Zhang Zongqing, Tang Suohan, Wang Jinhui, et al. The Sm-Nd and Rb-Sr isotopic system of the dolomites in the Bayan Obo deposit, Inner Mongolia, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(4): 637~642 (in Chinese with English abstract).
- [11] Masuda A, Nakamura N, Tanaka T. Fine structures of mutually-normalized rare-earth patterns of chondrites [J]. Acta, Geochim. Cosmochim. 1973, 37: 239~248.
- [12] Sun S S and McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts implications for mantle composition and processes [A]. In: Saunders A D and Norry M J (eds). Magmatism in the Ocean Basins [C]. Geological Society Special Publication 1989, 42, 313~345.
- [13] Chao E T C, Back J M, Minkin J A. Host-rock controlled epigenetic, hydrothermal metasomatic origin of the Bayan Obo REE-Fe-Nb ore deposit, Inner Mongolia, P.R.C [J]. Applied Geochemistry, 1992, (7): 443~458.
- [14] 乔秀夫,高林志,彭阳,等.内蒙古腮林忽洞群综合地层和白云鄂博矿床赋矿微晶丘[J]. 地质学报, 1997, 71: 202~211.
Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang, et al. Composite stratigraphy of the Sailinhuodong Group and ore-bearing micrite mound in the Bayan Obo deposit, Inner Mongolia, China [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71: 202~211 (in Chinese with English abstract).
- [15] 曹荣龙,朱寿华,王俊文.白云鄂博铁—稀土矿床的物质来源和成因理论问题[J]. 中国科学(B辑), 1994, 12: 1298~1307.
Chao Ronglong, Zhu Shouhua, Wang Junwen. On source of materials and genesis of the Bayan Obo Fe-REE ore deposit [J]. Science in China (Series B), 1994, 24(2): 1298~1307 (in Chinese).
- [16] 孟庆润.论白云鄂博铁矿含矿围岩——白云岩的沉积成因及其沉积环境分析[J]. 地质论评, 1982, 28(5): 481~488.
Meng Qingrun. The genesis of the host rock——dolomite of the Bayan Obo deposit and analysis of its sedimentary environment [J]. Geol. Review, 1982, 28(5): 481~489 (in Chinese with English abstract).
- [17] Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets [M]. New York: Pergamon Press, 1981, 977.

Information about ore deposit formation in different epochs: Age of the west orebodies of the Bayan Obo deposit with a discussion

ZHANG Zong-qing, TANG Suo-han¹, WANG Jin-huai¹, YUANG Zhong-xin², BAI Ge²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Institute of Mineral and Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: There has been a long dispute about the age of the Bayan Obo iron-niobium-REE deposit. This paper reports the Sm-Nd isochron age and Rb-Sr isochron age of iron-niobium-REE ore samples from the west orebodies of the deposit. The Sm-Nd isochron age is 809 ± 80 (2σ) Ma, with $I_{Nd} = 0.511182 \pm 34$ (2σ) and MSWD=1.10; the Rb-Sr isochron is approximately 391 ± 97 (2σ) Ma, with $I_{Sr} = 0.70453 \pm 72$ (2σ) and MSWD=47. The Sm-Nd isochron age of the west orebodies is different from the ages of the principal and east orebodies of the deposit obtained with the same chronological method. The Bayan Obo deposit may have formed in the Meso- and Neoproterozoic and undergone subsequent modification of geological processes in the Early Paleozoic Caledonian. As is the case with the principal and east orebodies, the Sr isotope system of iron ore and dolomite of the east orebodies was disturbed or reset in the Caledonian.

Key words: age; west orebodies; Bayan Obo deposit