

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

白云鄂博赋矿白云岩成因研究 历史、问题及新进展

刘淑春 章雨旭 郝梓国 彭 阳

(中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037)

内容提要 前人对白云鄂博矿床赋矿白云岩的成因主要有4种认识: ① 正常沉积; ② 岩浆侵入; ③ 海底火山喷溢沉积; ④ 与深源热卤水有关。笔者综合评述了这些认识的主要论据, 阐述了笔者等的新发现——赋矿白云岩为大型微晶丘——它可以较好地解释这些看起来极为矛盾的地质事实。

关键词 稀土矿床 铁矿床 铌矿床 内蒙古白云鄂博

对白云鄂博矿床已有十分悠久且详细的研究, 然而对其成因仍有多种认识, 关键问题是对赋矿白云岩的成因认识不同。归纳起来主要有4类观点: ① 正常沉积; ② 岩浆侵入; ③ 海底火山沉积; ④ 与深源热卤水有关。

在白云鄂博矿区, 主赋矿层为灰褐、黄褐色中厚层状至块状白云岩、含铁白云岩, 富含稀有、稀土元素。以前认为其与宽沟北 H_8 相当, 较新资料认为应与 H_5 对比^{[1~3]①}, 张鹏远等^[3]将其划分为 H_5^2 。下伏(H_5^2)灰黑色磷质白云母片岩、硅质板岩、含磷黑云母板岩、泥板岩夹灰绿色、绿色绿帘绿泥板岩和少量白云岩, 厚 385.1 m; 上覆(H_5^3)灰黑色钠闪斜长片岩、硅质岩、淡绿色条带状硅质岩、暗绿色富钾板岩、富钾粗玄岩, 厚度 > 27.1 m。赋矿白云岩东西长达 18 km, 南北宽约 2 km, 矿区白云岩中部厚 500~700 m, 向四周渐薄, 东端仅厚 100 m, 南端厚 100~200 m^[4]。在宽沟背斜北翼, H_1 — H_4 各层均可与白云鄂博矿区(在宽沟背斜南翼)逐一对比, 而赋矿地层 H_5 在北翼为中、薄层灰岩和白云质灰岩(图 1)。

1 前人研究综述

50 年代之前, 人们对赋矿白云岩的沉积成因并无异议, 1963 年谢家荣先生在白云鄂博矿区研究后提出了白云鄂博矿床可能属岩浆碳酸岩型的看法。1971 年内蒙古区测队认为本区赋矿白云岩为加里东中期侵入的碳酸岩(见中国科学院地球化学研究所^[5]和白鸽^[6])。80 年代初, 岩浆成因和海底火山沉积成因的论文公诸于世, 从此三足鼎立, 研究者们为寻找证据进行了大量的工作, 大大促进了对白云鄂博矿床的研究。

现对 80 年代以来不同学者从不同角度获得的证据作一综述。

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49772093)和地质行业科学技术发展基金资助项目(编号 959622)的成果。

① 内蒙古自治区第一区域地质研究院一、二分队。中华人民共和国区域地质调查图幅说明书, 白云鄂博幅(1: 50000), 1996。

本文 1998 年 12 月收到, 1999 年 5 月改回, 萧品芳编辑。

西矿中段的白云岩之中(共7个样品),其次在主东矿的个别样品里。扫描电镜研究其表面表明,该磷灰石不同于岩浆溶蚀,而具机械擦痕和磨蚀坑。另外,①西矿 Zk-36-85 号钻孔中白云岩中含磨圆的岩屑,X 射线粉晶鉴定为斜长石+石英(?);②主矿下盘含浑圆状磷灰石的白云岩薄片,同时发现有磨圆状岩屑,其边缘受到闪石化。

侯宗林^[11]报道在矿区白云质大理岩和暗色板岩中发现多种氨基酸:基丙氨酸、苏氨酸、亮氨酸、缬氨酸、丝氨酸、脯氨酸、丙氨酸、赖氨酸、甘氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸。

赵景德等^[12]总结他人证据,认为赋矿白云岩的“原岩是沉积灰岩”。

孟庆润等^[13]测定了西矿 32 线向斜北翼地表 5 件和西矿 20 线 1 号孔深 12.8 m 处 1 件赋矿白云岩中残留的泥晶灰岩,其中 5 件 $\delta^{18}\text{O}$ 16.5‰~21.0‰(SMOW), $\delta^{13}\text{C}$ -2.42‰~-4.92‰(PDB), 32-5 样 $\delta^{18}\text{O}$ 为 13.9‰, $\delta^{13}\text{C}$ 为 -9.27‰。在 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 分布图上,比魏菊英等^[9]的结果更接近典型沉积岩的区域(图 2)。

曹荣龙等^[14,15]据 8 个稀土的氟碳酸盐矿物($\delta^{13}\text{C}$ 为 -3.90‰~-5.33‰; $\delta^{18}\text{O}$ 为 +6.39‰~12.71‰)(图 2)、2 个赋矿白云岩($\delta^{13}\text{C}$ 为 -0.40‰, -0.32‰; $\delta^{18}\text{O}$ 为 +15.71, +14.61)和两个碳酸岩脉 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 对比,认为赋矿白云岩来源于地壳浅表,而稀土氟碳酸盐矿物中的 CO_2 来源于地壳深部(与碳酸岩脉接近)。

曹荣龙等^[16]进一步指出,他们的研究表明,矿区原生铁矿和稀土矿是成因机制不同的两个独立部分。铁矿床赤铁矿和磁铁矿并重,其中只有赤铁矿石才是原生矿石,磁铁矿(5 个样 $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)分别为:1.38‰, 1.47‰, 1.78‰, 2.28‰, 2.68‰)乃是遭受稀土成矿溶液作用后的改造铁矿石。赤铁矿石的氧同位素组成(4 个样: $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)分别为 -1.24‰, -2.58‰, -3.25‰)证明白云鄂博原生铁矿为表生沉积矿床。氟碳酸盐稀土矿物、氧同位素数据(表 1)揭示了稀土造矿矿物与寄主白云岩之间同位素体系的不耦合性,从而排除了赋矿白云岩属于岩浆碳酸岩的可能性,矿区白云岩为正常沉积碳酸盐岩。稀土的铈、铷同位素资料表明稀土、铈等成矿元素来自地幔。稀土氟碳酸盐矿物、伴生硫化物、霓石和萤石等矿物气液包裹体,以及钠闪石和云母等含水矿物的碳、氧、氢、硫同位素组成直接证明稀土成矿溶液并非地壳热液,而是地幔流体。白云鄂博稀土矿床是一个新类型的地幔流体交代矿床。

张鹏远等^[3]研究白云鄂博群发现,赋矿白云岩层位稳定,与上覆板岩互层过渡,下部板岩中见白云岩夹层,与熊包子南哈不沁剖面可逐一对比,后者白云岩中产叠层石。

内蒙古自治区第一区域地质研究院一、二分队^①将赋矿白云岩定名为菠萝吐白云岩,指出它分布于高位同生断裂与东介勒格勒同生断裂之间,厚度>960.9 m,夹有薄层状透镜状石英

表 1 白云鄂博矿床稀土氟碳酸盐矿物与白云岩及碳酸岩脉的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 对比

Table 1 Comprison among the REE-fluorium-carbonatite dolostone and carbonate dike in Bayan Obo deposit

矿物或岩石	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) (SMOW)
氟碳铈矿	-4.12	6.39
氟碳钙铈矿	-5.13	11.02
黄河矿	-3.90	12.71
黄河矿	-5.60	10.71
黄河矿	-4.92	11.18
黄河矿	-5.03	11.23
氟碳铈钍矿	-5.11	10.25
氟碳铈钍矿	-5.19	10.18
层状白云岩	-0.40	15.71
块状白云岩	-0.32	14.61
萤石化白云岩	-1.45	12.50
云母化白云岩	-1.55	13.08
本区碳酸盐脉	-5.17	11.88
新疆碳酸盐脉	-4.73	8.28

引自曹荣龙等,1996^[16]。

① 内蒙古自治区第一区域地质研究院一、二分队,中华人民共和国区域地质调查图幅说明书,白云鄂博幅(1:50000), 1996。

岩、白云质灰岩、结晶灰岩层。

1.2 碳酸岩浆成因

周振玲等^[17]最早公开发表论文,提出了赋矿白云岩的岩浆成因,指出碳酸岩体穿切不同层位的岩层。岩层北界和南界均有SW向的岩枝发育,岩枝与岩体边界夹角 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。在岩体内接触带有石英砂岩、板岩、闪长岩和辉长岩捕虏体。受SN向压应力作用,板状白云岩、柱状磷灰石、铁质析离体和围岩捕虏体均呈定向排列;微细粒稀土矿物、磁铁矿等聚集成条纹条带定向排列,构成了流线、流面构造。区内碳酸岩脉达数百条之多。碳酸岩的矿物组合、化学成分、稀土元素的配分特征及结构构造与国外内生成因的碳酸岩相似。碳酸岩的交代作用发育。岩体与岩脉的围岩均发生了不同程度的蚀变,且随着远离岩体而减弱。

孟庆昌^[18]指出,宽沟南、北白云岩特征不同。白云岩体中未见沉积结构构造,而条带状构造是由萤石、稀土和磷灰石等组成。白云岩体与下伏不同层位接触,东矿以东,白云岩顶底板均为板岩,板岩是被侵入而分开的。白云岩体和与之接触的围岩均产生不同程度的矿化和蚀变。白云岩中多处见有板岩、石英砂岩的残留体。宽沟背斜附近,多处见脉状白云岩体,有的侵入底部混合岩。白云鄂博矿床具有碳酸岩矿床的矿物和元素组合特征。见钛铁矿中有赤铁矿包裹体——固溶体分解产物,表明钛铁矿的形成温度相当高。 Nb/Ta , Th/U , Zr/Hf 值大。

刘铁庚^[19]指出白云碳酸岩不是呈层状产出,而是由许多规模不等的白云碳酸岩构成近EW向的碳酸岩带,呈现连续性差、胀缩明显的串珠状。白云碳酸岩出露没有一定层位,岩体西部出露在 H_3 板岩中,见“ H_3 ”和“ H_9 ”板岩相互过渡。在12号矿体附近,切过 H_4 石英砂岩,分布在 H_4 石英砂岩与 H_5 板岩层间及 H_5 板岩与 H_6 石英砂岩层间。在海西花岗岩及玄武岩中也有出露。白云碳酸岩与周围岩石呈侵入接触。①在白云碳酸岩突然收缩或尖灭的地方往往有白云碳酸岩的分枝插入围岩或呈锯齿状接触,如主矿北和东介勒格勒。②多处见到白云碳酸岩斜切板岩的层理。③边部见捕虏体。条带构造发育,且条带绕过角砾或其他坚硬块体。不同于平行的沉积条带。外接触带具接触变质。他还认为白云岩体的形成晚于海西花岗岩。

刘铁庚^[20]测得白云鄂博群全岩U-Th-Pb年龄1500 Ma,海西期花岗岩全岩Rb-Sr等时线年龄和黑云母K-Ar年龄为240~270 Ma,而白云岩中的金云母或黑云母K-Ar年龄为240~250 Ma,易解石Th-Pb年龄为210~230 Ma。他还总结引用了38件白云岩的氧碳同位素结果,指出与基性岩浆有关的热液一般贫 ^{18}O 、 ^{13}C ,故受热液改造白云岩的 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 应该减小而不是增大,但在白云鄂博矿区贫矿白云岩的 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 最小,富矿白云岩反而较大。细粒白云岩比中粗粒白云岩富含 ^{18}O 、 ^{13}C 。矿体及上、下盘白云岩比远离矿体白云岩的 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 大。 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 与Nb, TR, Th含量正相关。

Le Bas等^[21]研究发现,①含稀土矿体粗粒的白云石大理岩 $\delta^{18}O$ 为8‰~12‰, $\delta^{13}C$ 为-5‰~-3‰,紧临矿体的细粒重结晶稀土矿化白云岩大理岩 $\delta^{18}O$ 为+12‰~+16‰, $\delta^{13}C$ 为-4‰~0‰。②粗粒和细粒白云石大理岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr < 0.704$,而沉积岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 应当 > 0.710 。③细粒白云石大理岩的 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$ 值高于粗粒大理岩的,高于宽沟北碳酸岩脉,而低于沉积岩,这一结果与刘铁庚^[20]的结论相同,认为细粒白云石大理岩是由粗粒白云石大理岩粗粒化、重结晶而成,并伴有早期矿化。

杨学明等^[22]据对白云鄂博矿区东部矿体下盘 H_2 中碳酸岩墙的研究认为,碳酸岩墙的稀土元素和微量元素分配形式与白云鄂博REE-Nb-Fe矿床细粒白云石大理岩十分相似,赋矿白云石大理岩能够与碳酸岩进行对比。

1.3 海底火山喷溢沉积

白鸽等^[23]指出,赋矿白云岩的上覆板岩为富钾板岩,一般 K_2O 约为 10%,最高达 15%以上。矿物成分主要是微斜长石,有少量石英晶屑及长石变斑晶,偶见具港湾状(港湾状外缘——笔者注)石英晶屑、长英质细脉及微斜长石斑团块。东矿以东,富钾板岩相变为钙质黑云板岩、碳质绢云板岩;在西部矿段见于白云岩中和白云岩层之下。3 件白云岩和 1 件铁矿石的及 1 件长石板岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.704,年龄为 458 Ma。

王辑等^[1]将原白云鄂博群 H_5 含矿白云岩及 H_9 含钾板岩的层位向下移至于尖山组,与原 H_5 对比。主要依据是:① 据野外观察,含矿白云岩与下伏尖山岩组呈渐变过渡关系,其间没有大的断裂构造。② 与碳酸岩同源的碱性岩——碳酸岩脉贯入了下伏的都拉哈拉岩组及尖山岩组,被含矿白云岩(火山—沉积碳酸岩)覆盖,再上部岩组中也未见其踪迹。③ 含矿白云岩、含钾板岩(属碱性火山岩及火山碎屑岩)的古地磁特征与尖山岩组岩石相似,均处于反极性期,而与哈拉霍疙特组、比鲁特组显著不同(从所给表中数据看,整个白云鄂博群的古地磁极位置相差很大,数据很不集中——笔者注)。

王辑等^[23]指出含矿岩系应划归尖山组 H_5 岩段,该岩段在矿区内下部为板岩与白云岩、含铁白云岩互层,上部为板岩。该岩段板岩均富钾,具火山结构,属火山碎屑岩变质而成。地质部 105 队报告^①指出:白云岩与石英岩(应为石英砂岩——笔者注)的关系“在探槽中看到是过渡关系,局部地区有断层为走向断层”。内蒙古第二物化探队报告^②中指出,未发现白云岩与石英岩界线有大规模断层迹像。所以, H_4 岩段石英岩(应为石英砂岩——笔者注)与白云岩含矿岩系为连续沉积,含矿岩系应属 H_5 岩段。尖山组这一层位西延至熊包子一带也有相类似的富钾板岩(K_2O 4.33%~5.81%),但不发育含矿白云岩,而为正常海相沉积碳酸盐岩,发育有白云质灰岩,灰岩中发现有叠层石。在宽沟以北则相变为铁质板岩和灰岩。

袁忠信等^[24]据白云鄂博 40 个白云岩的平均岩石化学成分、钾长石岩的化学成分(4 件, K_2O 达 15.75%)、Sm-Nd 等时线年龄 1.58 ± 0.3 Ga, $\epsilon_{Nd}(t) = +0.61 \pm 2.4$, 认为稀土来自地幔流体。

袁忠信等^[25]认为赋矿白云岩上覆地层的岩石极为复杂,计有变辉绿岩、粗面岩、流纹英安岩、流纹岩、石英岩、白云岩、黑云母岩、钠闪石—长石岩、钠辉石—长石岩、红柱石—黑云母角闪岩及炭质绢云板岩等。前 4 种是火山岩或火山成因岩石和白云岩常在其中呈透镜状或夹层产出;后 5 种是受蚀变交代或变质的产物。

白鸽等^[4]论证了层状含矿岩系是沉积地层而不是侵入体、许多交代现象可用同生沉积解释、含矿岩系的层位具有专属性、沉积成岩中心与矿化中心的统一性、矿石结构构造的同生沉积性等,认为尖山组沉积后期,宽沟断裂与地幔沟通,诱发富稀土碳酸盐流体的不断上升喷溢。流体阳离子主要是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Si^{2+} (似应为 Si^{4+} 或 SiO_2 ——笔者注),其次有 Na^+ 、 K^+ , 伴生有 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 、REE(似应为 REE^{3+} ——笔者注)、 Nb^{5+} 、 Th^{3+} 等,阴离子主要为 CO_3^{2-} , 其次是 F^- , 再次为 P^- (似应为 PO_4^{3-})、 S^{2-} 、 Cl^- 等。不断喷出的上述流体,由于矿化度高、比重大,在海盆底部逐渐聚集成高盐度热卤水,铌、稀土等元素亦由喷溢中心(主、东矿段)向四周均匀扩散。当元素达到其饱和浓度时,则开始沉积。

① 地质部 105 队。内蒙古白云鄂博矿床地质特点与成矿规律研究。1966。

② 内蒙古第二物化探队。白云鄂博宽沟背斜南综合物探工作小结。1987。

1.4 与深源热卤水有关

陈辉等^[26]据碳酸岩的C、H、O稳定同位素特征及成岩温度,认为它们是在裂谷中,由携带大量深源物质的热卤水与海水以1:1的比例混合而成的,因此它们兼有多种成因的特点。在远离矿体的白云岩中,白云岩以液体包裹体(气液比20%~50%)为特征,均一温度为140~320℃,爆裂温度为170~320℃,多数集中在170~280℃之间。矿区岩浆碳酸岩中的白云石以气相包裹体(气液比>80%)为特征,其形态为短柱状或长条状,具有定向排列性。对矿区白云岩、磁铁矿、赤铁矿、石英的包裹体及钠闪石等的结构水的氢同位素组成进行了测定(文中未给出数据表,但给出了一幅图),其中碳酸盐的最低的 δD 值为-167.8‰,为一方解石脉。其余样品均集中在-100‰~-140‰范围内。

2 对已有研究成果的总体评价及存在问题

笔者认为,沉积成因的认识有较坚实的野外地质基础,因而沉积学家和古生物学家大多数持这一认识。岩浆侵入成因论者主要是基于与其他火成碳酸岩在微量元素、同位素等方面的对比,以及在矿区附近有碳酸岩脉,持这种观点者主要是地球化学家。海底火山喷溢沉积的确凿证据是上覆板岩为碱性火山岩,且可以解释沉积论和岩浆论的大多数证据。与深源热卤水有关的认识可较好的解释C、H、O同位素数据。

但是,沉积论者无法解释白云岩没有沉积层理及全岩稀土和铌矿化;火成论者无法解释白云岩中十分发育的纹层,而且有大量生物。海底火山喷溢沉积和与深源热卤水有关的认识尚需对白云石、霓石、钠闪石、钠长石、萤石、磷灰石等从热水中沉淀的机制、白云岩缺少层理而有大量纹层、矿石中常见纹层状构造、下伏砂岩中的霓石化、钠闪石化、上伏板岩中的钠长石化、白云岩中有许多层板岩夹层等问题作出合理的解释。

3 新进展——赋矿白云岩是大型微晶丘

季强等^[27]、彭阳等^[28]经多年研究,在北京西山寒武系顶部首次确认原“纯灰岩”是一个微晶丘,解决了长期未决的一个问题,乔秀夫等^[29]基于北京西山的研究经验,在白云鄂博东南25 km的腮林忽洞群顶部又很容易地识别出了一个微晶丘。接着在白云鄂博矿床进行考察时发现白云鄂博矿床的赋矿白云岩与腮林忽洞群顶部的微晶丘宏观地质、地貌特征十分相似,推断赋矿白云岩也是一个微晶丘^{[29]①},经进一步研究,获得了更多的证据^[30,31]。

3.1 微晶丘的概念

微晶丘(Micrite mound),很多人称之为泥丘(Mud mound),可以看作是生物礁的一种。在范嘉松等^[32]对生物礁的分类中称为灰泥岩隆礁(Limemud buildup reef)——主要由灰泥组成,仅见少量的生物和生物碎屑。在威尔逊对碳酸岩台地边缘礁的分类(见范嘉松等^[32])中称为下斜坡灰泥堆积——灰泥丘,主要由灰泥组成,由固着生物捕获或障积而成,呈丘状或面包状,一般生长于正常浪基面以下,位于陆棚边缘前斜坡。深度可达100 m左右。

据钱宪和研究^[33,34],微晶丘一般是一个半圆形的丘状体。通常底宽3倍于高,厚度一般几米到几十米,常出现在较深、较安静的平缓斜坡地带,常聚集成带状平行于古海岸。主要成分是

① 章雨旭,彭阳,乔秀夫等. 白云鄂博矿床成因证据新发现. 见:“97资源、环境与可持续发展”学术讨论会论文摘要集. 山东东营,1997.

相当纯的微晶灰岩。通常微晶灰岩成分可占总体积的30%~90%,一般多为50%~70%。生物成分多为珊瑚、钙质海绵、各种藻类、苔藓虫与海百合。生态的研究显示,这些生物都是生长在较深海、较安静的环境里。微晶丘常具有以下构造:①微晶灰岩的微细构造与叠层石的微细构造极为相似,显示这些构造不是由沉积作用所能造成的;②常有生物生长的痕迹,有时与钙质藻类形成互层的生长;③具有微细的、隐约的平行层理;④带有虫管状、类似海绵组织的构造;⑤呈亮晶与微晶的交互层;⑥呈浅色与暗色微晶的交互层;⑦有粪球似的微小凝块构造;⑧瓷质状、乳质状不规则构造。

钱宪和^[33,34]指出,微晶丘的可能成因是:在微晶丘中有大量微生物,如菌类、蓝绿菌藻和藻类等的生长,在它们的新陈代谢过程中能沉淀出大量的微晶灰岩(吸收 CO_2 ,放出 O_2 ,导致 CaCO_3 沉淀),同时它们能捕获和安定一些灰泥,造成大量的微晶灰岩。

3.2 赋矿白云岩特征

笔者等^[31]研究发现,白云鄂博赋矿白云岩与上、下岩层的关系均为渐变过渡,被海西期花岗岩侵入,在海西期花岗岩与赋矿白云岩的接触带可见花岗岩有冷凝边。在赋矿白云岩中,宏观具纹层,但不见沉积层理,与北京西山及腮林忽洞微晶丘宏观特征相似。在镜下可见:①白云岩具粒状结构,晶粒间的接触界线大多数为弯曲状,很少是平直的;②白云岩晶粒有粗有细,大小不等;③白云岩晶粒有泥质、铁质浸染;④纹层构造表现为白云石晶粒的层状排列,晶粒并无波状消光现象;纹层状矿石中表现为不同的矿物成带状聚集;表明纹层构造是由交代作用继承原生纹层构造形成,而不可能是拉伸线理。

笔者在下伏砂岩中发现霓石—钠闪石—钠长石脉,从其产状可确认其为热液沿砂岩中的裂隙交代形成,其矿化特征与矿体的矿化相似,证明成矿热液来自于更深部位而不是白云岩中^[31]。

3.3 包裹体特征

据倪培、章雨旭等研究(待刊),在白云鄂博东矿矿石磷灰石中(样品号102630)发现可供测定的包裹体。在萤石中(样品号Z102620)分布有大量的单液相水溶液包裹体。下伏砂岩中霓石—钠闪石脉的(样品号Z10237、Z10238)霓石中有一定量的单液相水溶液包裹体及单相纯二氧化碳包裹体分布。

据磷灰石中包裹体测定,均一温度最低为150℃,最高为425℃。在24个数据中,有14个为190~265℃,而7个含 CO_2 包裹体的为350℃以上。另3个数据分别为150℃、174℃和305℃,含 CO_2 包裹体的盐度和密度均比较低,最低密度仅为0.44 g/cm³,气液比达0.85。而水溶液包裹体的盐度和密度均较高,最高盐度达35.4 NaClwt%。根据所测包裹体富水、富 CO_2 、高盐度的特征,结合:①下伏砂岩中霓石—钠闪石—钠长石脉中的霓石有纯 CO_2 单相包裹体;②矿石的萤石中有大量单液相水溶液包裹体,可以认为矿区遭受了富 CO_2 和高盐度流体的作用。结合矿石矿物组成和同位素研究,可以推断,这种流体可能来源于地幔或下地壳。正是这种流体携带了大量成矿物质,当遇到微晶丘时与微晶灰岩发生强烈交代作用,形成白云石化、萤石化、霓石化、钠闪石化及稀土、铌等的矿化,并导致下伏砂岩和上覆板岩中也产生霓石化、钠闪石化、钠长石化等热液蚀变。

3.4 稳定同位素特征

Le Bas等^[21]研究发现,细粒白云岩的碳、氧同位素接近沉积岩,而粗粒白云岩接近岩浆

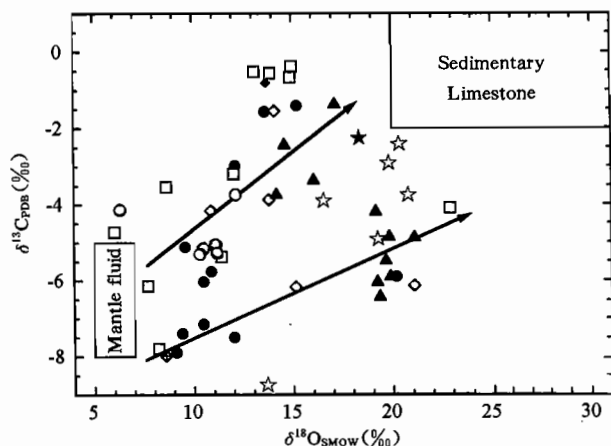


图2 白云鄂博矿床部分碳酸盐矿物和碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 分布图

Fig. 2 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ distribution map of the carbonatite minerals and rocks of the Bayan Obo deposit

●—东矿方解石; ▲—赋矿白云岩出露区最西端剖面方解石; ◇—赋矿白云岩出露区最东端剖面方解石; □—矿区白云岩中方解石; ☆—赋矿白云岩内残留泥晶灰岩(据孟庆润等, 1992^[13]); ★—宽沟北灰岩平均值(10件样品, 据魏菊英等, 1983^[9]); ◆—19件赋矿白云岩样品平均值(据魏菊英等, 1983^[9]); ○—矿区的稀土氟碳酸盐矿物(据曹荣龙等, 1996^[16], 数据见本文表1)

●—Calcite from Eastern Mine; ▲—calcite from the section most western end of the ore-hosted dolomite; ◇—calcite from the section most eastern end of the ore-hosted dolomite; □—dolomite; ☆—remain micrite limestone in mineralized dolomite (from Meng et al., 1992^[13]); ★—average of the limestone northern to Kuangou anticline (10 samples, from Wei et al., 1983^[9]); ◆—average value of the ore-hosted dolomite (from Wei et al., 1983^[9]); ○—REE-fluorite-carbonite (from Cao et al., 1996^[16], data see table 1)

参 考 文 献

- 王辑, 李双庆. 狼山—白云鄂博裂谷系及其成矿特征. 见: 地质矿产部沈阳地质矿产研究所主编. 中国北方板块构造论文集, 第2集. 北京: 地质出版社, 1987.
- 王辑, 王保良, 徐成海等. 内蒙古查尔泰山群与白云鄂博群时代对比及含矿性. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1989. 104~106.
- 张鹏远等. 白云鄂博地区地质构造特征. 见: 中国地质科学院天津地质研究所刊, 第28号. 北京: 地质出版社, 1993. 1~86.
- 白鸽, 袁忠信等. 白云鄂博矿床地质特征和成因论证. 北京: 地质出版社, 1996. 1~104.
- 中国科学院地球化学研究所. 白云鄂博矿床地球化学. 北京: 科学出版社, 1988. 1~554, 497, 514.

岩, 认为细粒白云岩是由粗粒的岩浆成因的白云岩细粒化而成. 而杨晓勇等^①研究发现, 远离矿化中心, 位于矿区东端和西端白云岩中的方解石的 C、O 同位素接近沉积岩, 而在矿化中心——东矿的白云岩中的方解石接近于地幔流体(图2). 结合已有数据^[9, 13, 16, 21](图2), 笔者认为, 用地幔流体交代原生沉积岩解释白云鄂博矿床 C、O 同位素的特征更为合理.

3.5 矿床成因新认识

章雨旭等^[31]根据最新研究成果, 对白云鄂博矿床成因提出了新的认识, 认为是同沉积的火山作用和生物作用在微晶丘中同生富集了 Nb 和 REE, 后期深源富 Na、K 热液选择性叠加矿化于微晶丘中.

4 结语

综上所述, 可以认为, 赋矿白云岩是大型微晶丘这一新认识较好地解释了白云鄂博特大型矿床的成因和特殊性, 并为找寻类似矿床限定了严格的条件. 但是, 仍有许多问题尚未得到解决, 如白云岩究竟形成于中元古代^[1, 2, 4, 35, 36]还是早古生代^[3, 29]? 白云岩是原生的还是白云石化形成的? 若是白云石化形成, 那么白云石化是在矿化之前还是与矿化同时?

① 杨晓勇, 章雨旭, 杨学明, 郑永飞等. 北京西山、腓林忽洞微晶丘与白云鄂博白云岩 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 对比(待刊).

- 6 白鸽. 白云鄂博矿床成因认识的回顾. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 1099~1100.
- 7 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. 地质论评, 1982, 28(5): 481~489.
- 8 魏菊英, 上官志冠. 内蒙白云鄂博铁矿床中磁铁矿和赤铁矿的氧同位素组成. 地质科学, 1983, (3): 217~224.
- 9 魏菊英, 上官志冠. 白云鄂博铁矿围岩白云岩的氧、碳同位素组成及其成因. 岩石学研究(第2辑). 北京: 地质出版社, 1983. 14~21.
- 10 蔡秀成, 富毓德, 唐荣炳. 白云鄂博矿区碎屑矿物磷灰石的发现及其地质意义. 矿物学报, 1984, 4(4): 353~356.
- 11 侯宗林. 白云鄂博铁-铌-稀土矿床基本地质特征、成矿作用、成矿模式. 地质与勘探, 1989, 25(7): 1~5.
- 12 赵景德, 任英忱, Mitsunobu Tatsumoto 等. 以多种证据建立的白云鄂博矿床成矿矿物生成顺序. 地质找矿论丛, 1991, 6(4): 1~17.
- 13 孟庆润, Drew L J. 内蒙白云鄂博“H₂ 含矿白云岩”氧、碳同位素研究及其成因. 地质找矿论丛, 1992, 7(2): 46~54.
- 14 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. 见: 中国地质学会矿床专业委员会编. 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993. 179~183.
- 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. 中国科学(B辑), 1994, 24(12): 1298~1307.
- 16 曹荣龙, 朱寿华. 地幔流体与金属成矿作用. 见: 杜乐天, 刘若新, 邓晋福主编. 地幔流体与软流层(体)地球化学. 北京: 地质出版社, 1996. 436~459.
- 17 周振玲, 李功元, 宋同云等. 内蒙古白云鄂博白云石碳酸岩的地质特征及其成因探讨. 地质论评, 1980, 26(1): 35~42.
- 18 孟庆昌. 白云鄂博碳酸盐矿床的成因特征. 地质与勘探, 1981, (3): 10~17.
- 19 刘铁庚. 白云鄂博白云岩氧、碳同位素组成及其成因讨论. 地质论评, 1986, 32(2): 150~159.
- 20 刘铁庚. 白云鄂博白云碳酸岩的地质和地球化学特征. 岩石学报, 1985, 1(3): 15~28.
- 21 Le Bas M J, Spiro B, Yang Xueming. Oxygen, carbon and strontium isotope study of the carbonatitic dolomite host of the Bayan Obo Fe-Nb-REE deposit, Inner Mongolia, N China. Mineralogical Magazine, 1997, 61: 531~541.
- 22 杨学明, 杨晓勇, 陈天虎, 张培善, 陶克捷, Le Bas M J, Henderson P. 白云鄂博富稀土元素碳酸岩岩墙地球化学特征及稀土富集机制. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 527~532.
- 23 白鸽, 袁忠信. 白云鄂博矿床成因分析. 见: 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 第4号. 北京: 地质出版社, 1983. 1~17.
- 24 袁忠信, 白鸽, 吴澄宇等. 内蒙白云鄂博铌、稀土、铁矿床的成矿时代和矿床成因. 矿床地质, 1991, 10(1): 59~70.
- 25 袁忠信, 白鸽, 吴澄宇等. 内蒙白云鄂博矿区 H₂ 中火山岩岩石特征及意义. 矿床地质, 1995, 14(3): 197~205.
- 26 陈辉, 邵治安. 白云鄂博地区碳酸岩的形成方式及构造背景. 见: 地质矿产部沈阳地质矿产研究所主编. 中国北方板块构造论文集, 第2集. 北京: 地质出版社, 1987. 73~79.
- 27 季强, 章雨旭. 从层序地层学研究试论华北地区寒武系与奥陶系分界. 地质论评, 1997, 43(3): 241~248.
- 28 彭阳, 季强, 章雨旭, 乔秀夫. 北京西山及邻区寒武系顶部微晶丘特征及层序地层学意义. 地质论评, 1998, 44(1): 35~43.
- 29 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 章雨旭. 内蒙古腮林忽洞群综合地层和白云鄂博矿床赋矿微晶丘. 地质学报, 1997, 71(3): 202~211.
- 30 章雨旭, 彭阳, 乔秀夫, 高林志, 杨晓勇. 白云鄂博矿床赋矿白云岩成因新认识. 地质论评, 1998, 44(1): 70.
- 31 章雨旭, 彭阳, 乔秀夫, 杨晓勇, 高林志, 郝梓国. 白云鄂博赋矿微晶丘的论证. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 691~696.
- 32 范嘉松, 张维. 生物礁的基本概念、分类及识别特征. 岩石学报, 1985, 1(3): 45~59.
- 33 钱宪和. 微晶灰岩与微晶丘——它们的问题与成因. 台北“经济部中央地质调查所”特刊, 第5号. 1991. 213~287.
- 34 Tsien Hsien-Ho. Ancient reefs and micrite mounds, their concepts, nomenclature and recognition. proceedings of the “Geological Society of China” (Taipei), 1990, 33(4): 261~287.
- 35 张宗清, 叶笑江, 袁忠信, 白鸽等. 白云鄂博稀土矿床的形成年代: Sm-Nd 同位素数据. 岩石矿物学杂志, 1991, (1): 80~83.
- 36 张宗清, 唐索寒, 王进辉, 袁忠信, 白鸽. 白云鄂博稀土矿床形成年龄的新数据. 地球学报, 1994, (1~2): 85~93.

作者简介

刘淑春, 女, 1951年生. 1977年毕业于南京大学地质学系. 现为中国地质科学院副研究员, 主要从事岩石学和矿物学研究. 通讯地址: 100037, 中国地质科学院.

A Genetic Study of the Ore-hosted Dolostone in the Bayan Obo Deposit

——History, Problems and New Progress

Liu Shuchun, Zhang Yuxu, Hao Ziguang and Peng Yang

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

Abstract

The understanding on the genesis of the ore-hosted dolostone in the Bayan Obo deposit can be summed into 4 categories: ① normal sedimentation, ② magmatism, ③ volcanism at sea-bottom, and ④ hot-water sedimentation. The main evidence of each of these views are reviewed in this paper. Also, a new progress and its main evidence are introduced: the dolostone is a micrite mound.

Key words: REE deposit; iron deposit; niobium deposit; Bayan Obo, Inner Mongolia
