

白云鄂博“白云岩”地质地球化学特征及成因讨论

刘铁庚¹⁾, 张正伟¹⁾, 叶霖¹⁾, 沈能平¹⁾, 杨占峰²⁾, 李称心²⁾, 冯建荣²⁾

1) 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳, 550002;

2) 内蒙古包头包钢集团巴润矿业有限责任公司, 内蒙古包头, 014080

内容摘要:白云鄂博“白云岩”位于华北板块的北缘, 宽沟背斜的南翼。蕴藏着世界最大的稀土矿床, 还是大型—超大型铈、铁和钍等矿床赋存母岩。“白云岩”不是层状岩石, 无明显的层理和固定的层位, 而是一套大小不等, 串珠状的“白云岩”带。“白云岩”与围岩呈明显的侵入关系。表现在“白云岩”切割 H₄ 石英砂岩、H₅ 板岩和花岗岩脉, 并有许多分枝脉插入到 H₄ 石英砂岩和 H₅ 板岩中。“白云岩”中存在 H₄ 石英砂岩的残留顶盖相, 捕获了 H₄ 石英砂岩和 H₅ 板岩的捕虏体, 并引起围岩的强烈蚀变。板岩的黑云化, 石英砂岩的钠闪石化, 花岗岩的碱交代。“白云岩”含有大量铈、稀土、钍等岩浆岩中常见的矿物晶体。硫、碳、氧、锶和铁等同位素组成都具有深源特征。说明白云鄂博“白云岩”不是沉积岩, 而是岩浆碳酸岩。

关键词: 白云鄂博“白云岩”; 稀土矿床; 地质地球化学特征; 岩浆碳酸岩

白云鄂博蕴藏着世界上最大的稀土矿床, 同时, 还储藏大型—超大型铁、铈、钍、钽、钨、钼、氟、磷和钾等矿床。这些矿都赋存在“白云岩”中, 只要是“白云岩”就是铈、稀土矿石。所以, 白云鄂博“白云岩”成为一颗灿烂的宝石, 光彩夺目, 吸引着全世界地质工作者的眼珠, 许多人前去考察和研究。自 1927 年丁道衡教授发现白云鄂博铁矿至今已近 90 年。在这期间, 除分散的课题组研究外, 还进行过多次有地质队、科研单位和大专院校参加的、多兵种的会战性勘查和研究, 但是, 对“白云岩”的成因迄今仍然是争论不止。笔者认为关键是对“白云岩”的地质产状不清。地质产状是讨论地质体成因的基础, 室内研究野外地质工作的深化和补充。本文以论述“白云岩”的地质产状为主, 略谈“白云岩”地球化学特征。

需要说明的是: 文中所谈到的地质现象绝大部分请冶金部天津地质调查所任英忱研究员和原白云鄂博地质研究所邱聚田工程师核实过。不少地质现象在 1:5000 的内蒙古白云鄂博都拉哈拉—西矿地质地形草图上均有不同程度显示^①。

1 区域地质概况

白云鄂博“白云岩”位于华北板块与西伯利亚板

块衔接地带上, 宽沟背斜的南翼。宽沟背斜核部出露新太古界的二道洼群绿片岩、石英角闪斜长片麻岩和大理岩等。两翼为晚元古界(?)的白云鄂博群。白云鄂博群共分 9 层。层与层之间都是整合接触。宽沟背斜北翼出露的白云鄂博群是(尖山—比鲁特剖面): 第一层(H₁)是含砾粗粒长石石英砂岩, 厚 295 m。第二层(H₂)为白色石英砂岩夹石英岩, 厚 391 m。第三层(H₃)是黑色碳质板岩, 厚 291 m。第四层(H₄)为石英砂岩和长石石英砂岩, 厚 168 m。第五层(H₅)是暗灰色碳质板岩, 厚 285 m。第六层(H₆)是长石石英砂岩夹板岩, 厚 141 m。第七层(H₇)是石英砂岩与灰岩互层, 厚 453 m。第八层(H₈)是灰岩, 厚 272 m。第九层(H₉)暗色板岩, 厚 161 m。宽沟背斜南翼只出露白云鄂博群的第一到第六层。“白云岩”只分布于宽沟背斜的南翼。由于前人把“白云岩”划归白云鄂博群的 H₈, 并把它作为标志层, 将其上盘的板岩划归 H₉^{②③④}(白鸽等, 1985; 中国科学院地球化学研究所, 1988; Le Bas et al., 1992; 张宗清等, 2003), 结果出现宽沟背斜南翼地层的大量缺失(主—东地区缺失 H₅、H₆、H₇; 西矿地区缺失 H₄、H₅、H₆ 和 H₇), 造成宽沟背斜南北两翼地层很不对称。据笔者的研究; “白云岩”不是沉

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 41173063)资助的成果。

收稿日期: 2011-09-14; 改回日期: 2011-12-29; 责任编辑: 周健。

作者简介: 刘铁庚, 男, 1941 年生。研究员, 矿床地球化学专业。通讯地址: 550002, 贵州省贵阳市观水路 46 号; Email: liutiege1@Yahoo.com.cn。

积地层,更不是 H_8 。原划的 H_9 应该是 H_5 ,分布于东介格勒的 H_4 ,应该是 H_6 。这样宽沟南侧出露地层应该是从 H_1 到 H_6 连续出露,为整合接触关系。与宽沟背斜北翼的地层就吻合了。

2 “白云岩”不是层状岩石

“白云岩”为块状岩石,没明显的层理和固定的层位。在 12 号矿体以东(直到都拉哈拉)都分布在 H_4 石英砂岩南面,主体与 H_4 石英砂岩直接接触,少数岩体产于 H_5 (原 H_9) 暗色板岩中。12 号矿体以西出露于 H_4 石英砂岩北面的 H_3 (原 H_9) 碳质板岩中,远离 H_4 石英砂岩。12 号矿体以东,主要是顺层侵入的大岩体。12 号矿体以西为透镜状小岩体。过去人们将这些透镜体连成层状,作为“白云岩”层。“白云岩”出露的实际面积不足所谓“白云岩”层的 $1/3 \sim 1/4$ 。这样给人们一种“白云岩”为层状岩石的假象。

原来划的 H_9 板岩为什么我们划归 H_5 或 H_3 ? 因为在东矿东端“白云岩”与板岩呈锯齿状接触,在最窄处,“白云岩”两边都是黑云母化板岩(图 1),岩性无明显的不同,应为同一层岩石。“白云岩”北邻的黑云母化板岩与 H_4 呈整合接触,应是 H_5 板岩,那么“白云岩”南邻的黑云母化板岩也应该是 H_5 。在 12 号矿体以西,“白云岩”是分布于板岩中的一个透镜体。透镜体上、下盘和它们之间出露的都是黑云母化板岩(图 2)。这些黑云母化板岩完全相同,应为同一层岩石。“白云岩”透镜体北邻的黑云母化板岩是大家公

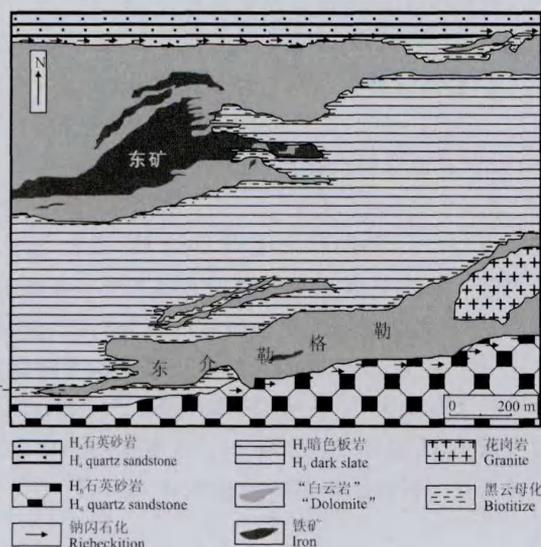


Fig. 1 Geologic map of the east ore body—Dongjiangele in Bayan Obo

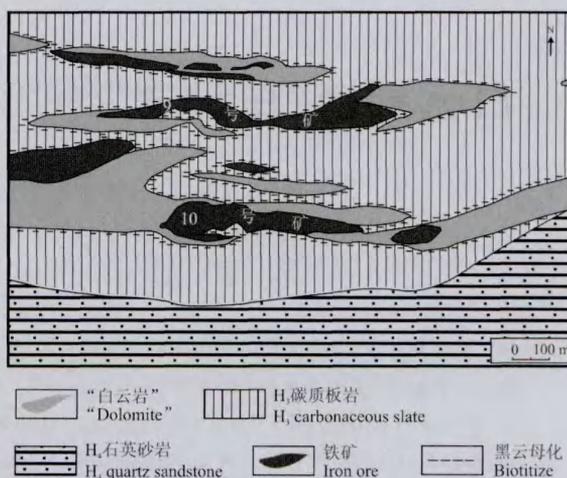


Fig. 2 Geologic map of No. 9~10 ore body in Bayan Obo

认的 H_3 ,那么,透镜体南邻和透镜体之间的黑云母化板岩也应该是 H_3 ,不应该是 H_9 。

“白云岩”条带构造主要发育在主、东矿。这些条带构造不是层理,而是流动构造。因为这些条带构造延长很少超过 3 m,而且组成各种各样图案。如花盆状、网脉状、似交错非交错状和双曲线型等(图 3,4,刘铁庚,1985)。这些条带构造非常类似五大连池玄武岩的流动构造。

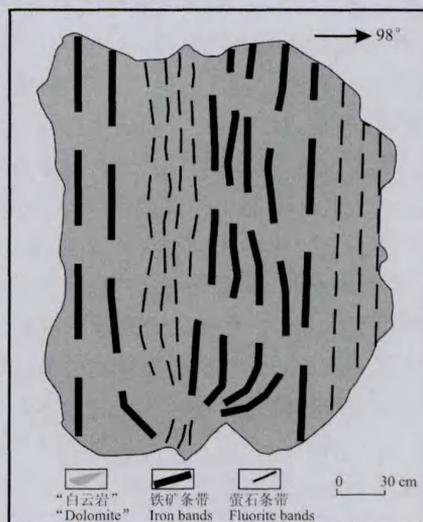


Fig. 3 Band-like structure like flower pots at the east REE-Fe ore body of Bayan Obo

3 “白云岩”与围岩呈侵入接触关系

“白云岩”与 H_3 碳质板岩、 H_4 石英砂岩、 H_5 暗色板岩和 H_6 长石石英砂岩直接接触,呈现出明显

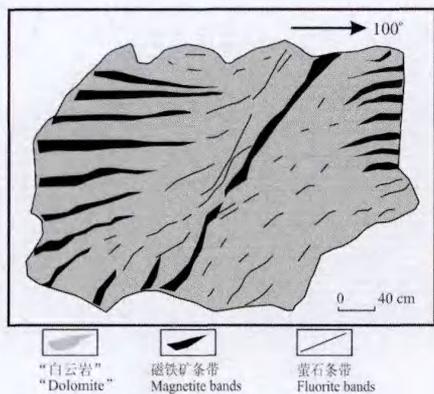


图 4 白云鄂博东矿 REE-Fe 矿石的似交叉非交叉的条带构造

Fig. 4 Like cross-band structure of non-cross in the east REE-Fe ore body of Bayan Obo

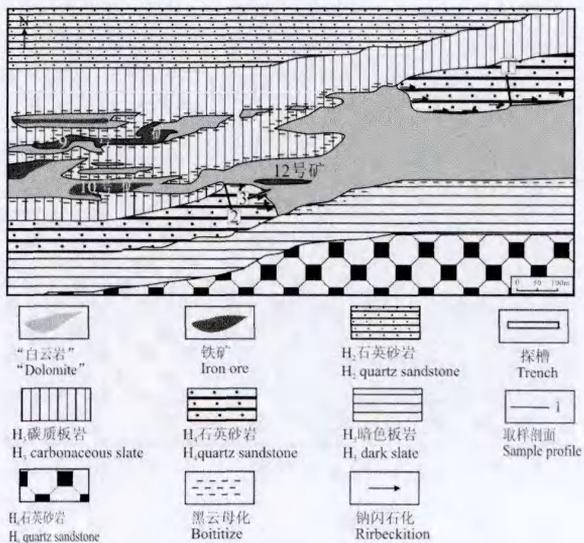


图 5 白云鄂博 12 号矿体地质图 (略有修改)

Fig. 5 Geologic map of No. 12 ore body in Bayan Obo (slightly modified)

的侵入接触,并引起围岩的强烈蚀变。

3.1 “白云岩”与石英砂岩的侵入接触关系

(1)“白云岩”切割 H₄ 石英砂岩:几乎在所有白云鄂博矿床的地质图上(包括已发表论文中的图)都显示:12 号矿体以东直到都拉哈拉 H₄ 石英砂岩分布在“白云岩”的北侧,并紧密毗邻。向西延伸到 12 号矿体附近突然尖灭。在 12 号矿体以西直至西矿所谓的转折端,H₄ 石英砂岩产于“白云岩”南面(图 5)。为了证实“白云岩”两边石英砂岩的关系,于 2010 年在矿床地球化学国家重点实验室的资助下,进行了专门考察和研究。证实“白云岩”两边的石英砂岩同为 H₄ 地层。北侧的 H₄ 石英砂岩向西延伸到 12 号矿体被“白云岩”切断。“白云岩”南面的 H₄ 石英砂岩自矿区西端所谓的转折端向东延伸到 12 号矿体附近同样被“白云岩”切割,说明“白云岩”切割了 H₄ 地层(另有论文详述)。

(2)“白云岩”的分枝脉侵入到 H₄ 石英砂岩中:在主矿北“白云岩”与 H₄ 接触处,由于“白云岩”吞食一大块 H₄ 石英砂岩,故有 6 条“白云岩”分枝脉侵入到残留的 H₄ 中。脉两边的 H₄ 均产生不同程度的钠闪石化和石英重结晶现象(图 6)。持沉积观点者认为这些脉是 H₄ 的夹层。那么要问,“白云岩”夹层为什么只在这个地方出现? 沉积夹层怎么会引起两侧石英砂岩的钠闪石化?

(3)“白云岩”与 H₆ 石英砂岩呈锯齿状接触:在东介格勒有电线杆山头向东第三个山头南坡,见到“白云岩”与 H₆ 石英砂岩呈锯齿状接触,并引起 H₆ 石英砂岩的强烈钠闪石化,特别是被“白云岩”捕获一块石英砂岩的钠闪石化更强烈,并发育两组菱形

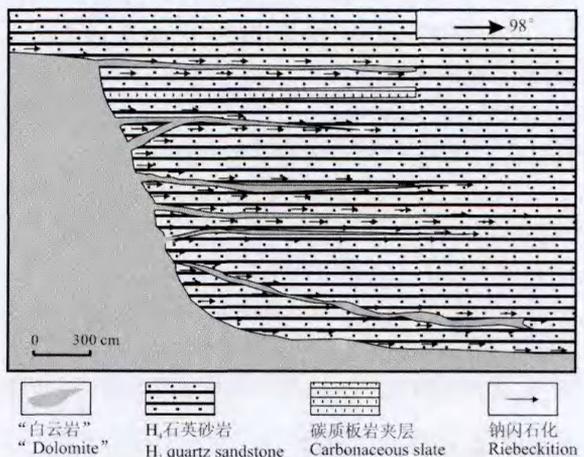


图 6 白云鄂博“白云岩”的分枝侵入到 H₄ 石英砂岩中素描图

Fig. 6 The sketch that branch of “dolomite” penetrated into the H₄ quartz sandstone in Bayan Obo

解理。在两组解理交角处蚀变为钠闪石岩,比较疏松,中心残留一个近椭圆形的、坚硬的钠闪石石英岩椭球体(图 7)。

(4)“白云岩”中 H₄ 残留顶盖相:在 1 : 5000 的白云鄂博西矿—都拉哈拉地形地质图上,主矿—东矿北面的“白云岩”中有两块 H₄ 石英砂岩团块。我们对其中的一块进行了草测,发现该石英砂岩团块非常破碎,钠闪石化比较强烈,但是,仍保持原来近东西走向的产状(图 8),因此,认为它是 H₄ 石英砂岩的残留顶盖相,不是捕虏体。

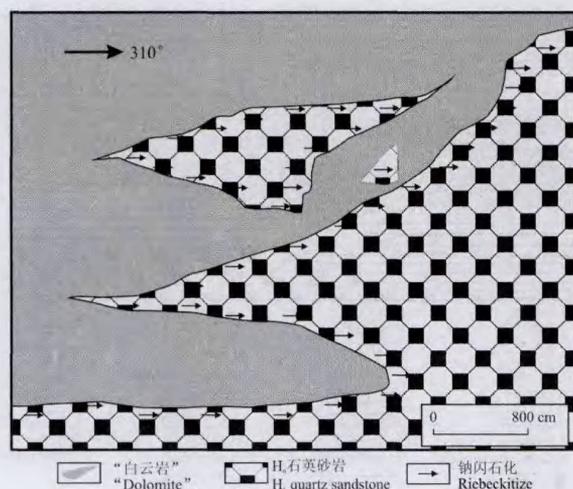


图7 白云鄂博“白云岩”与 H_4 石英砂岩呈锯齿接触关系草测图

Fig. 7 The sketch that the serrated contact relation between "dolomite and H_4 quartz sandston in Bayan Obo

(5)“白云岩”中发现 H_4 的捕掳体:在主矿北面“白云岩”与 H_4 接触的内带发现 H_4 石英砂岩的捕掳体(已被剥土揭露出)。该捕掳体近于圆形,其中还有“白云岩”细脉穿插。石英砂岩普遍产生了钠闪石化,“白云岩”脉两边钠闪石化更强(图9)。

(6)与“白云岩”接触石英砂岩的蚀变现象:石英砂岩与“白云岩”广泛接触。与“白云岩”接触的石英砂岩都产生了不同程度的钠闪石化和重结晶现象。钠闪石大致定向分布,石英重结晶,有拉长现象,形成镶嵌构造,形成钠闪石石英岩(图版I-1、4)。离“白云岩”较远石英砂岩中的钠闪石含量显著减少,石英重

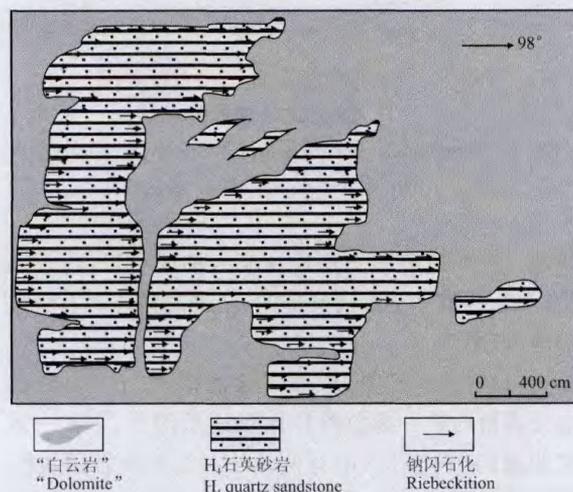


图8 白云鄂博“白云岩”中 H_4 石英砂岩的残留顶盖相
Fig. 8 Relic caprock of H_4 quartz sandston in the dolomite in Bayan Obo

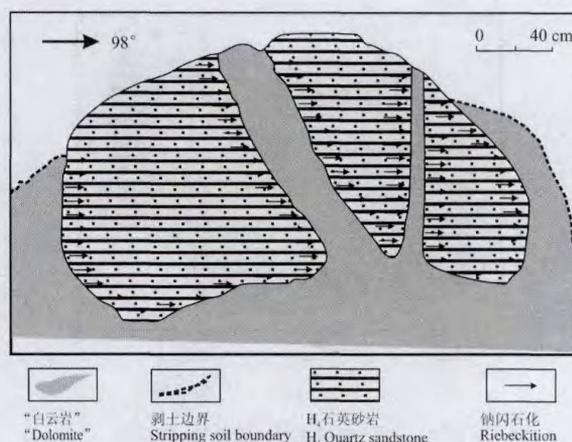


图9 白云鄂博“白云岩”中 H_4 石英砂岩的捕掳体
Fig. 9 The xenolith of H_4 quartz sandstone in "dolomite" in Bayan Obo

结晶现象变弱,石英的镶嵌现象不明显,形成含钠闪石石英岩(图版I-2、5)。远离“白云岩”石英砂岩不含或偶见钠闪石,石英基本为碎屑结构,无明显的重结晶现象,基本为正常石英砂岩或变质石英砂岩(图版I-3、6)。

(7)与“白云岩”接触蚀变石英砂岩的元素含量变化趋势:与“白云岩”接触处石英砂岩有钠闪石化和重结晶现象产生,元素含量也发生了明显变化。与“白云岩”接触石英砂岩的 K_2O 、 Na_2O 、 MgO 和 CaO 含量显著增加,随着远离“白云岩”这些元素含量逐渐减少,特别是 Na_2O 的含量变化更明显(图10)。图10是3个不同位置剖面石英砂岩的 K_2O 、 Na_2O 、 MgO 和 CaO 含量与“白云岩”关系图。

在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室用ICP-MS质谱仪测得蚀变带石英砂岩的48个微量元素中;其有29个微量元素含量剧烈升高,而且随着远离“白云岩”这些元素含量显著降低。图11是2个不同位置剖面石英砂岩的微量元素含量与“白云岩”关系图。

3.2 “白云岩”与暗色板岩呈侵入接触关系

“白云岩”与 H_5 和 H_3 暗色板岩广泛直接接触。“白云岩”与板岩的接触关系有以下现象:

(1)“白云岩”与板岩呈犬齿状接触:在东矿东头沿 H_5 暗色板岩的走向与“白云岩”呈犬齿状接触。“白云岩”与暗色板岩若是同一层岩石,可用相变解释。而它们却不是同一层岩石。一个是 H_8 ,另一个是 H_9 (沉积观点),不知如何用沉积地层解释这一现象?在“白云岩”变得最窄处,明显呈脉状侵入到板岩中(图1)。板岩产生强烈的黑云母化,形成黑云

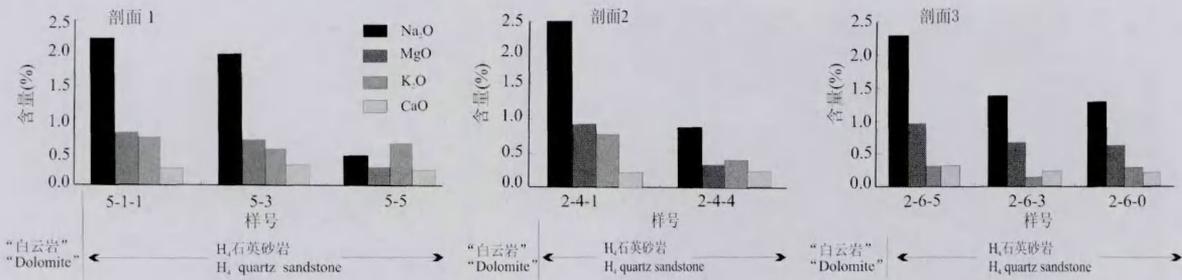


图 10 白云鄂博 H₄ 石英砂岩 Na₂O、K₂O、MgO 和 CaO 的含量与离“白云岩”距离的关系

Fig. 10 The content variation of Na₂O, K₂O, MgO and CaO of H₄ altered quartz sandstons with the distance from the dolomite in Bayan Obo

剖面 1:“白云岩”北面的剖面;剖面 2:12 号矿体南剖面;剖面 3:12 号矿体南侧沿石英砂岩走向剖面

Section 1: the section of the north in the No. 12 ore body; section 2: the section of the south in the No. 12 ore body; section 3: No. 12 ore body south along the quartz sandstone to profile

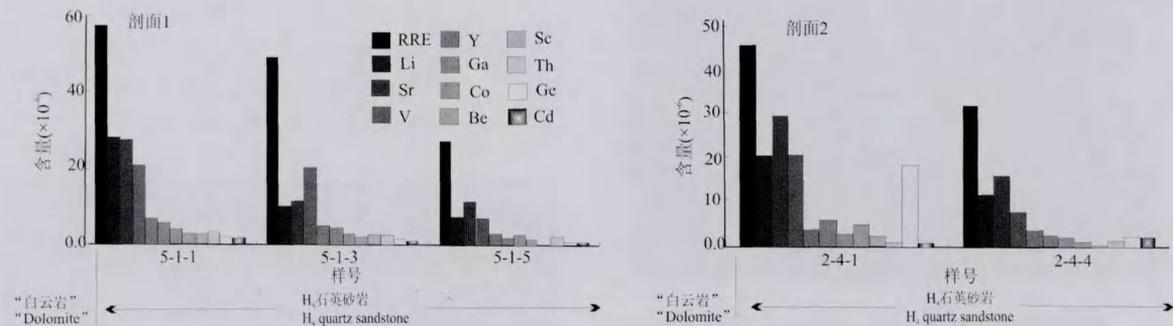


图 11 白云鄂博与“白云岩”接触处 H₄ 石英砂岩微量元素含量与“白云岩”距离呈负相关关系

Fig. 11 The diagram showing the trace elements contents decrease as increasing the distance from the “dolomite” in Bayan Obo

剖面 1:“白云岩”北剖面;剖面 2:“白云岩”南剖面

Section 1: the section of the north in the 12 ore body; section 2: the section of the south in the 12 ore body

母片岩。

(2)“白云岩”斜切 H₅ 板岩的层理:1983 年 6~7 月在东矿东头的第一个开采台阶掌子面上(掌子面高 20 m),观察到“白云岩”侵入到 H₅ 板岩中,并斜切 H₅ 板岩的层理,还引起板岩的黑云母化。在板岩残留顶垂体中不仅发生黑云母化,而且磁铁矿化也非常强烈(图版 I-7)。同年在东矿西头开采掌子面(高 20 m)上观察到“白云岩”的分支脉插入 H₅ 板岩中,板岩也产生黑云母化现象(图版 I-8)。

(3)“白云岩”吞没板岩角砾:在东矿东头废石堆中见到一大块滚石。滚石中有一板岩角砾,被“白云岩”包围或吞没。板岩角砾的基质是“白云岩”。板岩角砾的边缘和裂隙均产生不同程度的黑云母化现象(图版 II-1)。

(4)与“白云岩”接触的板岩产生明显的黑云母化现象:与“白云岩”接触的板岩,无论是 H₃ 或 H₅, 都发生强烈的黑云母化现象,形成黑云母片岩或黑

云母化板岩。随着与“白云岩”距离的增大,黑云母化逐渐减弱,云母片变小,依次形成黑云母片岩(图 12a)→黑云母化千枚岩(图 12b)→板岩(图 12c)。

(5)板岩蚀变带元素含量变化:与“白云岩”接触的板岩强烈的黑云母化,且 K₂O 含量大量增加。随着远离“白云岩”黑云母化渐弱,K₂O 含量也明显降低。出现了板岩的 K₂O 含量与离“白云岩”距离呈负消长趋势。CaO 和 Na₂O 的含量变化不十分明显(图 13)。

3.3 “白云岩”与东接触带花岗岩的接触关系

在东接触带“白云岩”与花岗岩广泛接触,在花岗岩中也分布着不少“白云岩”体。过去普遍认为:花岗岩是侵入到“白云岩”中的。但是,从已有的现象表明至少一期“白云岩”晚于花岗岩形成。

(1)“白云岩”切断了花岗岩脉:在菠萝头山东南坡板岩中发育两条分叉的花岗岩脉,其中一条被“白云岩”切断,另一条非常完整(图 14),与“白云岩”接

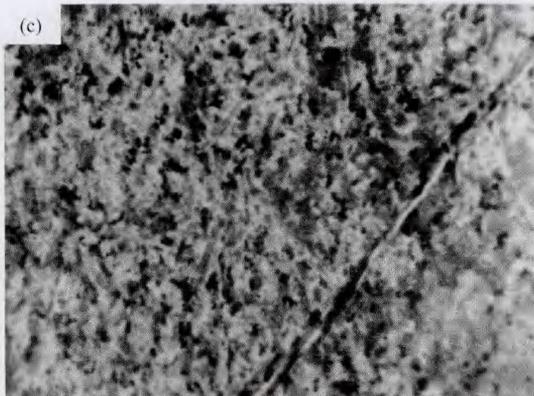
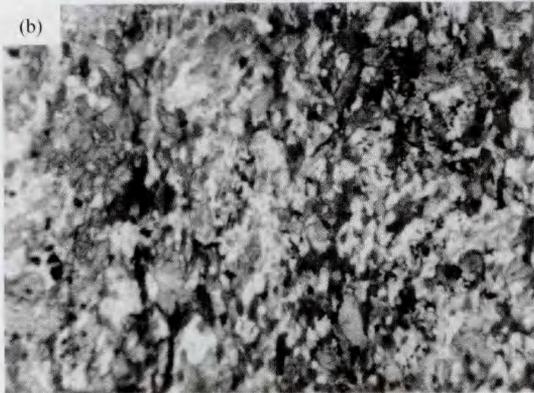
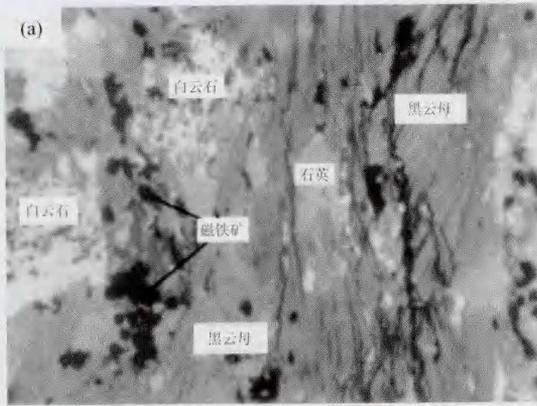


图 12 白云鄂博与“白云岩”接触的 H₅ 板岩的黑云母化蚀变剖面

Fig. 12 The biotite alteration profile of H₅ slate contacting with the “dolomite” in Bayan Obo

(a) — 黑云母片岩; (b) — 黑云母化千枚岩; (c) 板岩; 库伦沟剖面
(a) — Biotite schist; (b) — biotite phyllite; (c) — slate

接触的花岗岩产生弱的微斜长石化现象(此现象请洽金部天津地质调查所任英忱研究员和原白云鄂博地质研究所邱聚田工程师进行核实过)。

(2)与“白云岩”接触的花岗岩形成辉石正长岩:众所周知,侵入到碳酸盐岩中的花岗岩会发生混染

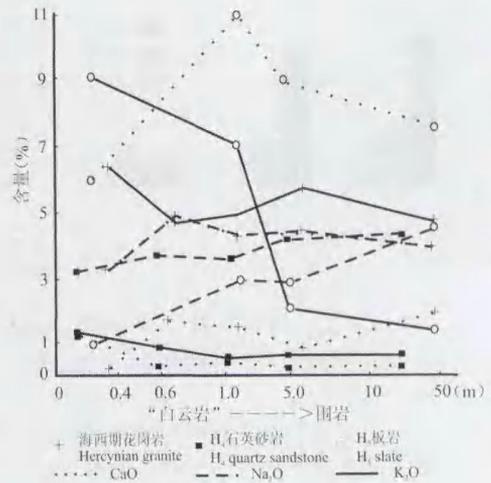


图 13 白云鄂博接触“白云岩”板岩的 K₂O、Na₂O 和 CaO 含量变化趋势

Fig. 13 The variation trends of K₂O, Na₂O and CaO contents of the slate contacting with “dolomite” in Bayan Obo

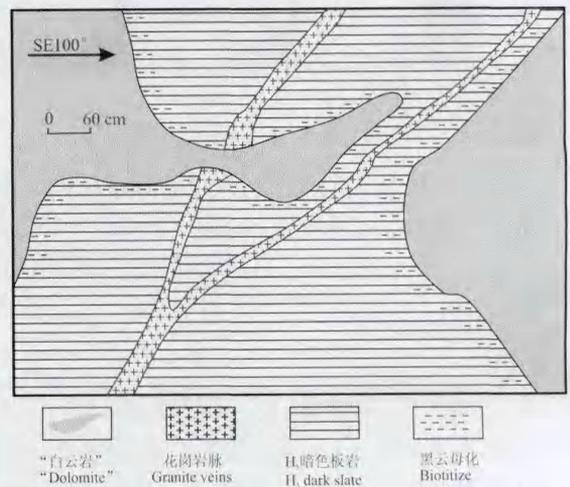


图 14 白云鄂博“白云岩”切割花岗岩脉草测图 (菠萝头山东南坡, 据刘铁庚等, 1986)

Fig. 14 Reconnaissance map that the “dolomite” cutting granitic vein in Bayan Obo (southeast slope of Boluotou hill, after Liu Tiegeng et al., 1986)

同化作用。混染同化作用的结果是花岗岩的钾、钠和硅含量降低,斜长石向基性斜长石转化,石英减少,花岗岩向偏中性岩转变。而该区与“白云岩”接触的花岗岩却是斜长石被微斜长石或条纹长石交代,并出现新的矿物辉石,石英消失,形成辉石正长岩。辉石正长岩被“白云岩”细脉穿插和交代(图版 II-2)。远离“白云岩”辉石消失,微斜长石和条纹长石含量明显减少,石英和斜长石含量增加(图版 II-

3)。岩体中心斜长石和石英含量恢复正常(图版 II-4)。如与“白云岩”接触的花岗岩条纹长石+微斜石=84%,过渡带花岗岩条纹长石+微斜石=49%,中心部位的花岗岩条纹长石+微斜石=47%。显然这不是混染同化的结果。

(3)与“白云岩”接触的花岗岩产生碱交代:侵入到碳酸盐岩石中的花岗岩通常是钾、钠和硅降低,钙和镁升高。而白云鄂博地区东接触带的花岗岩直接与“白云岩”接触。花岗岩的钾+钠含量明显增加,钙减少(图 13)。如接触带上的花岗岩 $K_2O + Na_2O = 11.06\%$,过渡带上花岗岩的 $K_2O + Na_2O = 9.04\%$,岩体中心的花岗岩 $K_2O + Na_2O = 8.71\%$ 。中国科学院地球化学研究所(1988)也指出:“白云岩”与花岗岩交代作用以钾的交代作用相对突出。说明不是花岗岩侵入到“白云岩”中,而是“白云岩”侵入到花岗岩中。

上述 3 种现象都一致说明花岗岩早于“白云岩”。

3.4 “白云岩”破坏了辉绿岩脉

在菠萝头山东路东第三个探槽中观察到辉绿岩脉被“白云岩”破坏。辉绿岩脉一边是板岩,另一边及底部是“白云岩”,辉绿岩脉的底部被“白云岩”吞食(图版 II-5)。“白云岩”中还残留辉绿岩角砾。角砾边部均被“白云岩”交代(图版 II-6)。与“白云岩”接触的辉绿岩产生黑云母化现象(图版 II-6)。角砾边部发生黑云母化(图版 II-7),中央仍保留辉绿岩结构(图版 II-8)。

4 “白云岩”含有大量岩浆岩或高温热液矿床中常见的矿物

“白云岩”含大量多种岩浆岩或高温热液矿床中常见的矿物。在已发现的 180 多种矿物中,有 70 多种铈、稀土、钽、锆、钛、铀和钍等矿物。这些矿物都是多产于岩浆岩和高温热液矿床中,形成温度比较高,在表生带一般都非常稳定。在沉积岩中,特别是碳酸盐岩中含量甚微,就是有,也是以碎屑产出。而在白云鄂博“白云岩”中不仅含大量的这些矿物,而且多呈他形晶体产出,少部分呈很好的自形到半自形晶体,尚未发现这些矿物碎屑。如锆石为四方双锥晶体,金红石和钽铁钛石为柱状晶体,钛铁矿和榍石为板状晶体,烧绿石为八面体,易解石为针状和板状晶体,褐钨铋矿和褐铋矿为双锥状晶体等。反映这些矿物是在高温高压条件下形成。

5 “白云岩”的元素组合与沉积碳酸盐岩明显不同

5.1 “白云岩”主元素组合的岩浆碳酸岩特征

笔者于 1990 年收集了世界上 20 个国家和我国 21 个省、市和自治区岩浆碳酸盐岩和沉积碳酸盐岩的硅酸盐全分析数据 769 个,代表了 2940 个样品的分析结果。其中岩浆碳酸岩数据 285 个数据,代表 640 个样品的分析结果。沉积碳酸盐岩数据 484 个数据,代表 2300 个样品的分析结果。在唐春景研究员的协助下,通过逐步判别分析的方法,筛选出判别不同成因碳酸盐岩石的最佳方程式。判对率高达 85%以上(刘铁庚,1990)。将白云鄂博地区宽沟北翼 H₈ 灰岩的 17 个和主、东矿“白云岩”的 37 个硅酸盐全分析数据分别进行计算,结果显示:灰岩的 17 个硅酸盐全分析数据,全判为沉积碳酸盐岩。34 个“白云岩”硅酸盐全分析数据判为岩浆碳酸岩的,占收集数据的 91.2%,3 个数据判为沉积碳酸盐岩(可能性是围岩的混染同化所致),占 8.8%(刘铁庚,1990),说明白云鄂博“白云岩”主要为岩浆碳酸岩。

5.2 “白云岩”的微量元素特征

Nb、REE、Th 和 Zr 等元素组合是判别岩石成因类型的重要方法之一。沉积岩,特别是化学沉积岩这些元素的含量一般低于地壳克拉克值。岩浆岩,特别碱性岩(包括岩浆碳酸岩)这些元素的含量远远超过地壳克拉克值(表 1)。白云鄂博“白云岩”含有大量的这些元素,其含量是地壳克拉克值的几十,甚至数百倍,沉积碳酸盐岩的几百到几千倍,达工业品位以上。如 RRE 含量是地壳克拉克值的 66~200 多倍,沉积碳酸盐岩的 200~1000 多倍;Nb 含量是地壳克拉克值的 8~60 多倍,沉积碳酸盐岩的 1700~2600 多倍。由此可见,白云鄂博“白云岩”的微量元素组合具有岩浆碳酸岩特征。

6 “白云岩”的稳定同位素特征

稳定同位素组成是判别物质来源及岩石成因的重要标志。人们经常根据同位素推断矿床和岩石成因。

6.1 硫同位素

目前汇集了与“白云岩”有关的硫同位素组成数据 189 个(主要是黄铁矿,极少量的方铅矿和磁黄铁矿),其中 85%的 $\delta^{34}S$ 数据集中于 -4% ~ 4% ,只有 22 个数据大于 4% ,占 12%,5 个数据小于 -4% ,占 3%。并且这些数据在直方图上,西矿呈很好的塔式分布(图 15b)。表明与“白云岩”有关硫化物的硫基本都来源于深部。主、东矿矿石类型,除白云石外,

还有黑云母型、磷灰石型、萤石型和钠辉石型等,因而,呈现双峰式,峰值分别在7‰和0‰附近。但变

化范围很窄, $\delta^{34}\text{S}$ 值都分布于-4‰~8‰之间(图15a),仍然说明硫来源于地幔。

表1 白云鄂博“白云岩”的稳定元素含量($\times 10^{-6}$)(据刘铁庚,1986)

Table 1 The content ($\times 10^{-6}$) of trace elements of dolomite in Baiyun Obo

元素	地壳克拉克 ^①	碳酸盐岩 ^①	深水钙质沉积物 ^①	碱性超基性岩 ^①	岩浆碳酸岩 ^②	“白云岩”	
						Nb-RRE-Fe型	Nb-REE型
Nb	20	0.3	4.6	890	386	787	515
Ta	2.5	$n \times 10^{-3}$	$n \times 10^{-3}$	245	18	11	8.9
Ti	4500	400	770	30	2300	2574	1688
Zr	170	19	20	18000	300	10~171	17~300
REE	207	62	119	5.2	2605	41600	13700
P	930	400	350	3200	12600	6492	2680
Zn	83	20	35	1.0	247	100	
Pb	18	6	6	30	52	10~100	
Th	9.6	1.7				596	81
U	2.7	2.2	$n \times 10^{-1}$			2.5	2.4

注:①中国科学院贵阳地球化学研究所《简明地球化学手册》编译组(1977);②Самойлов等(1982)。

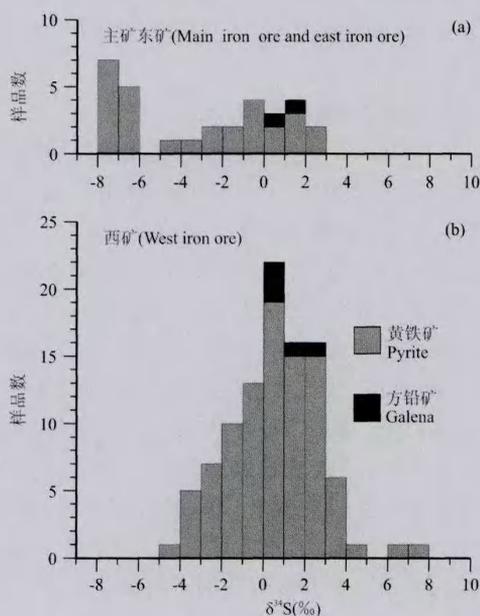


图15 白云鄂博“白云岩”的硫同位素组成(据杨凤筠^②)
Fig. 15 The sulfur isotopic composition of “dolomite” in Baiyun Obo (after Yang Fengjin^②)

6.2 碳氧同位素

收集到白云鄂博群H₈灰岩的氧碳同位素数据10个,“白云岩”的50个。灰岩的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 16.9\text{‰} \sim 20.4\text{‰}$,多数大于18‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -4.6\text{‰} \sim 1.5\text{‰}$,集中于-3‰~-2‰。“白云岩”的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 5.87\text{‰} \sim 16.5\text{‰}$,其中95%的数据小于14‰。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -2.32\text{‰} \sim 0.39\text{‰}$,75%的数据小于-1‰。由此可见,灰岩与“白云岩”氧、碳同位素

组成明显不同。灰岩的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 均大于16‰,“白云岩”的都小于16‰。“白云岩”的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 绝大部分数据集中于-2.32‰~0.39‰,而灰岩的主要为-3‰~-2‰。将“白云岩”投在前苏联学者Самойлов等(1982)绘制的全世界各地岩浆碳酸岩的氧-碳同位素图上,全投在岩浆碳酸岩区域,并且多集中在碳酸岩分布的密集区(图16)(刘铁庚,1985)。

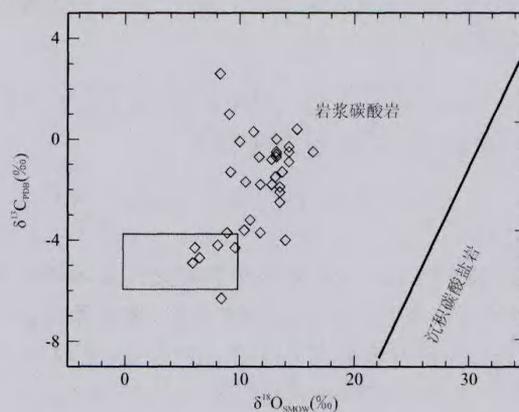


图16 白云鄂博“白云岩”的氧-碳同位素图
Fig. 16 Oxygen and carbon isotope composition of “dolomite” in Baiyun Obo

6.3 “白云岩”的锶同位素组成

收集到的“白云岩”锶同位素组成数据不多,从已有的数据看,全岩的数据都集中于 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr} = 0.7040 \sim 0.7061$,磷灰石的 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr} = 0.7035 \sim 0.7041$,与幔源岩石的锶同位素组成相似(0.702~0.707),明显不同于壳源岩石(0.707~0.711)。

6.4 “白云岩”的铁同位素组成

主、东和西矿体的铁同位素的组成,平均值为 $\delta^{56}\text{Fe}_{\text{IRMM}} = 0\% \pm 0.3\%$ 。其中铈稀土铁矿石和铈稀土矿全岩的 $\delta^{56}\text{Fe}_{\text{IRMM}} = -0.24\% \sim 0.32\%$,平均为 0.03% 。赋矿“白云岩”的 $\delta^{56}\text{Fe}_{\text{IRMM}} = -0.27\% \sim 0.20\%$,平均值为 0.06% 。磁铁矿的 $\delta^{56}\text{Fe}_{\text{IRMM}} = -0.17\% \sim 0.16\%$,平均值为 0.03% 。碳酸岩墙的 $\delta^{56}\text{Fe}_{\text{IRMM}} = -0.29\% \sim 0.30\%$,平均为 0.03% 。由此可见“白云岩”(包括碳酸岩墙和铁矿石)的铁同位素组成变化范围很窄,平均值接近 0% 值,这一特征与岩浆岩的类似(孙剑等,2011)。

7 小结

通过以上论述,可以看出:

(1)宽沟背斜南翼的“白云岩”不是层状岩石,无明显的层理,也没一定的层位。在12号矿体以东,“白云岩”主要分布于 H_4 石英砂岩的南面,主体与 H_4 石英砂岩直接接触;12号矿体以西“白云岩”产在 H_4 石英砂岩北面的 H_3 板岩中,并以大小不等、形状不规则的透镜体(或岩体)产出。

(2)“白云岩”切割 H_4 和 H_5 的层理,并有分枝脉侵入其中。

(3)“白云岩”与 H_6 石英砂岩和 H_5 板岩呈锯齿状接触。

(4)“白云岩”中有 H_4 石英砂岩的残留顶盖相和 H_4 石英砂岩、 H_5 板岩的捕掳体或角砾。

(5)与“白云岩”接触的岩石都产生了明显的围岩蚀变。石英砂岩的钠闪石化,板岩和辉绿岩的黑云母化,花岗岩的碱交代。远离“白云岩”围岩的蚀变现象逐渐减少。

(6)与“白云岩”接触的岩石(包括 H_4 和 H_6 石英砂岩, H_3 和 H_5 板岩,以及花岗岩)碱含量大量增加。表明“白云岩”为它们提供了碱的来源。

(7)“白云岩”含有大量的铈、稀土、锆、钍和铀等岩浆岩和/或高温热液矿床中常见的稳定矿物,而且均为晶体,有的具很好的自形晶体,未发现这些矿物的碎屑。

(8)“白云岩”的稳定同位素组成,无论是碳、氧、硫同位素,或是铈和铁同位素组成均具深源特征。

由此,我们认为白云鄂博“白云岩”是岩浆碳酸岩,命名为白云碳酸岩。

注 释

① 地质矿产部 105 地质队. 1966. 内蒙古白云鄂博都拉哈拉—西矿

地质地形草图。

- ② 罗跃星. 1979. 白云鄂博铁矿形成时的沉积环境及其他. 白云鄂博地质科研学术讨论会资料汇编(上). 73~83.
- ③ 孟庆昌. 1979. 浅谈白云鄂博矿床碳酸岩成因. 白云鄂博地质科研学术讨论会资料汇编(下册). 95~121.
- ④ 天津地质调查所矿床室黑色二组(曾久吾等). 1979. 关于白云鄂博铁矿成因的初步认识. 白云鄂博地质科研学术讨论会资料汇编(下册). 20~32.
- ⑤ 杨凤筠. 1979. 白云鄂博稀土-稀有铁矿床硫同位素地质的初步研究. 白云鄂博地质科研学术讨论会资料汇编(下). 65~69.

参 考 文 献

- 白鸽,袁忠信. 1985. 碳酸岩地质及其矿产. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊(第一号). 北京:地质出版社,37~39.
- 姜传武. 1982. 白云鄂博矿床同位素地质研究. 地质科学,(2):270~276.
- 刘铁庚. 1985. 白云鄂博白云碳酸岩地质地球化学特征——白云鄂博白云岩成因讨论. 岩石学报,1(3):15~28.
- 刘铁庚. 1986. 白云鄂博白云岩氧、碳同位素组成及其成因讨论. 地质论评,32(2):150~159.
- 刘铁庚. 1990. 碳酸盐岩石成因类型的判别分析和白云鄂博“白云岩”的成因讨论. 沉积学报,8(3):93~101.
- 刘铁庚,邱聚田. 1986. 再论白云鄂博白云岩的成因. 地质与勘探,(8):35~40.
- 孙剑,朱祥坤,房楠,陈岳龙. 2011. 白云鄂博多金属矿床铁同位素初步研究. 矿物岩石地球化学通报,30(增刊):508.
- 张宗清,唐索寒,王进辉,袁忠信,白鸽. 2003. 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. 中国地质,30(2):130~137.
- 中国科学院地球化学研究所. 1988. 白云鄂博矿床地球化学. 北京:科学出版社,50~342.
- 中国科学院贵阳地球化学研究所《简明地球化学手册》编译组. 1977. 简明地球化学手册. 北京:科学出版社,50~91.
- Le Bas M J, Keller J, Tao Kejie, Wall F, Williams C T, Zhang Peishan. 1992. Carbonatite, dykes at Bayan Obo, Inner Mongolia, China. Mineralogy and Petrology, 46: 195~228.
- Самойлов В С, Плюгосики Г С. 1982. Об источнике вещества редкоземельны корбонатитов. ГеоХимия, (9): 1230~1241.

图 版 说 明

图 版 I

- 1~6. 与“白云岩”接触石英砂岩的钠闪石化和重结晶现象显微镜照片(1~3:主矿北剖面,4~6:12号矿体南剖面);1,4:与“白云岩”接触的钠闪石石英岩;2,5:离“白云岩”较远处含钠闪石石英岩;3,6:离“白云岩”更远处变质石英砂岩。
7. “白云岩”侵入到 H_5 板岩中(东矿东头 1983 年第一个开采台阶,台阶高 20 m)。
8. “白云岩”分枝脉插入 H_5 板岩(东矿西头 1983 年第一个开采台阶的掌子面)。

图 版 II

1. “白云岩”吞食的板岩角砾(东矿东头滚石)。
2. 与“白云岩”接触的花岗岩形成辉石正长岩。
3. 过渡带花岗岩变为碱性花岗岩。
4. 岩体中心仍为正常花岗岩。

5. 辉岩脉被“白云岩”破坏(照片左上角为简单素描,菠萝头山东探槽)。
6. 辉绿岩角砾被“白云岩”交代并呈蚀变分带现象。
7. 辉绿岩角砾边缘的黑云母化现象。
8. 辉绿岩角砾中部保留的辉绿结构。

Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of “Dolomite” at Bayan Obo, China

LIU Tiegeng¹⁾, ZHANG Zhengwei¹⁾, YE Lin¹⁾, SHAN Nengping¹⁾,
YANG Zhanfeng²⁾, LI Chengxin²⁾, FENG Jianrong²⁾

1) State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry,
Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002;
2) Baotou Steel (Group) Barun Mining Co., Ltd, Baotou, Inner Mongolia, 014080

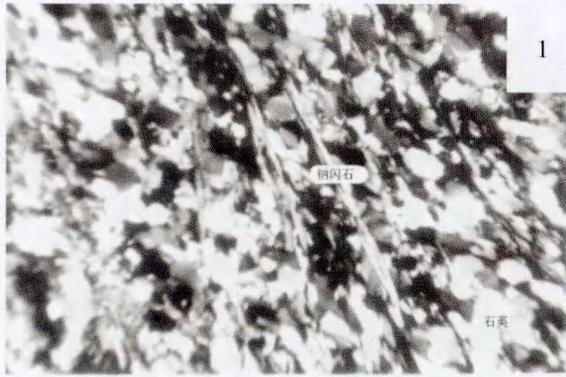
Abstract

Bayan Obo “dolomite” is distributed mainly at the south wing of the Kuangou anticline in the northern margin of the North China Craton. It is not only host to world's largest rare earth deposit but also parental rock for the large or very large niobium, iron, scandium and other minerals. The “dolomite” is not layered rock due to lacking no obvious bedding and fixed sequence, but a bedded dolomite belt with varying sizes. The “dolomite” has the obvious relationship of invasion with surrounding rock, which is reflected by the “dolomite” cutting through quartz sandstone (H_4), slate (H_5), and granite, and by many dolomite veins intruding the quartz sandstone (H_4) and slate (H_5). Residual cover phase of quartz sandstone (H_4) occurs in the “dolomite”. Meanwhile xenoliths of quartz sandstone and slate were also found in the dolomite, along with strong alteration of country rocks. Biotitization of slate, riebeckitization of quartz sandstone, and alkaline metasomatism are very common in the mining area. The “dolomite” contains a large amount of mineral crystals such as niobium, rare earths, thorium, etc., which are common in igneous rocks. The sulfur, carbon, oxygen, strontium and iron isotope composition have deep-source characteristics. All the features indicate that the dolomite is magmatic carbonate but not sedimentary carbonate.

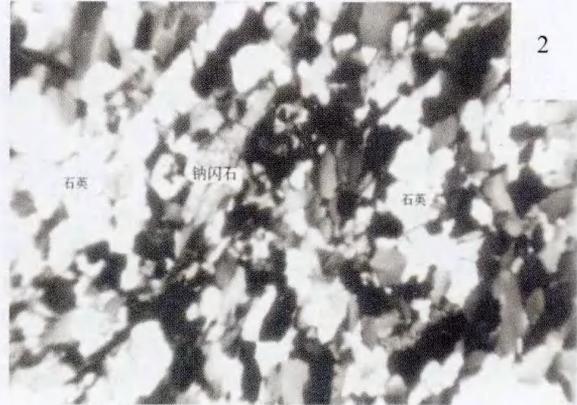
Key words: Baiyun Obo “dolomite”; geological and geochemical characteristics; carbonatite magma

刘铁庚等:白云鄂博“白云岩”地质地球化学特征及成因讨论

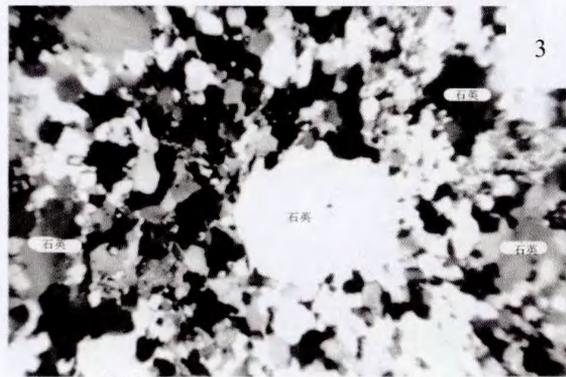
图版 I



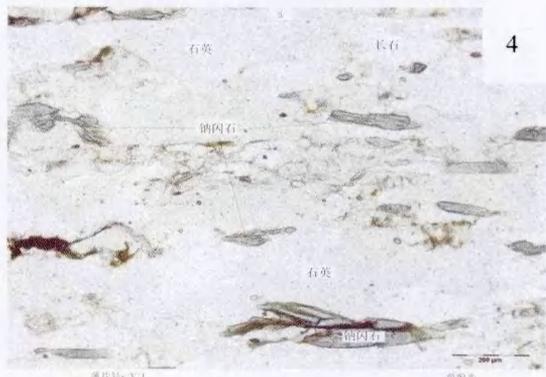
薄片号: 555 正交镜下 100×



样品号: 556 正交镜下 100×



薄片号: 558 正交镜下 100×



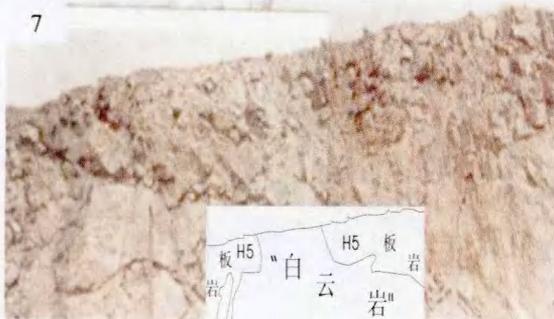
薄片号: Y-1 单偏光 200 μm



薄片号: Y-3 单偏光 200 μm



薄片号: Y-5 单偏光 200 μm



刘铁庚等:白云鄂博“白云岩”地质地球化学特征及成因讨论

图版 II

