

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.06.02

引用格式: 陈海东,王占富,鲁宁,等. 内蒙古额济纳旗灰石山稀土铌多金属矿床地质特征及成因[J]. 中国地质调查, 2020, 7(6): 13-19.

# 内蒙古额济纳旗灰石山稀土铌多金属矿床 地质特征及成因

陈海东, 王占富, 鲁宁, 张海峰, 谢建奎

(内蒙古地质矿产勘查院, 呼和浩特 010010)

**摘要:** 灰石山稀土铌多金属矿床位于内蒙古阿拉善地块北缘,是近些年新发现的规模较大的稀土铌多金属矿床。通过系统的槽探钻探工程、野外地质调查及岩相学研究,探讨了该稀土铌多金属矿床的地质特征及成因。灰石山稀土铌多金属矿床与碱性正长岩密切相关,具岩浆期后热液交代型和岩浆结晶分异型2种不同成因类型。通过总结该矿床的找矿标志,建立了成矿模式: 岩浆期后热液交代型矿床受断裂控制,正长质岩浆沿断裂被动侵位,随着温度和压力的下降,流体与熔体发生溶离作用,富含 Nb、REE 和挥发分(F 和 Cl 为主)的硅质流体发生水-岩反应,在有利部位形成了稀土铌矿床。矿床围岩褐铁矿化、黄铁矿化、硅化蚀变程度与稀土、铌的含量呈正相关,矿体与围岩界线不明显;正长质岩浆主动侵位,伴随岩浆结晶分异作用,不相容元素(Nb、REE 等)在残余熔体中富集成矿,形成了赋存于正长岩中的岩浆结晶分异型矿床。灰石山地区碱性正长质岩浆为稀土铌多金属矿床的形成提供了物质来源。

**关键词:** 稀土铌矿床; 成矿模式; 阿拉善地区; 灰石山

**中图分类号:** P618.79; P611; P624

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2020)06-0013-07

## 0 引言

稀有、稀土金属等矿产是公认的战略新兴矿产,在冶金、高端装备制造业及新能源汽车领域发挥着不可替代的作用,且其重要性越来越突显,因而有“工业维生素”之称<sup>[1-3]</sup>。灰石山稀土铌多金属矿床位于内蒙古阿拉善盟额济纳旗,北距雅干约 30 km,西距额济纳旗城区约 100 km,南距温图高勒苏木约 70 km。20 世纪 70 年代末,甘肃地质局地质力学区域测量队开展 1:20 万区域地质调查时,在灰石山一带发现了铌矿化露头并进行了地表槽探追索验证,认为稀土铌可能在地层沉积时已趋富集,后期构造运动使其进一步富集成矿,但未做深部取样工程验证、成矿物质来源研究及详细的矿床地质特征总结。2012—2018 年,内蒙古地质矿产勘查院在 1:20 万区域地质调查成果的基础上,对灰

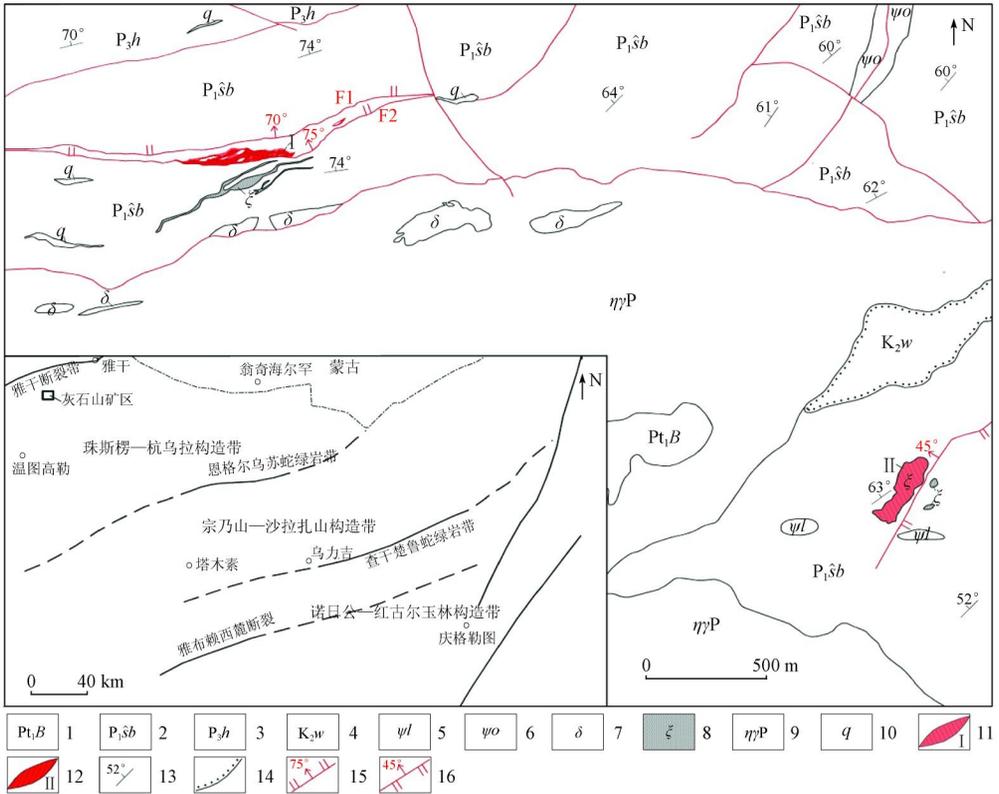
石山稀土铌多金属矿区开展普查、勘探工作,通过野外地质调查、槽探钻探揭露、岩矿鉴定及工艺矿物学研究,总结了该矿床的地质特征,探讨了成矿物质来源、矿床成因并建立了成矿模式,这对在灰石山矿区及周边地区进一步勘查、寻找同类型矿床具有重要的借鉴和指导意义。

## 1 区域地质概况

阿拉善地块处于华北板块、塔里木板块和西伯利亚板块之间的汇合地带,是天山造山带与兴蒙造山带的交汇部位。灰石山稀土铌多金属矿床位于阿拉善地块北缘珠斯楞—杭乌拉构造带内<sup>[4-6]</sup>,距北侧雅干断裂带约 20 km(图 1)。早古生代,该构造带地层为浅海相碎屑岩建造,以碎屑岩为主,不同地层单元连续沉积,无火山活动,反映了被动大陆边缘沉积环境。该构造带在石炭纪火山活动频

繁,伴有强烈的基性和中性火山喷发,由被动陆缘转化为活动陆缘;该构造带在早二叠世接受巨厚

沉积,形成复理石建造,沉积盆地逐渐加厚,属于裂谷作用的产物<sup>[4-7]</sup>。



1. 古元古界北山岩群; 2. 下二叠统双堡塘组; 3. 上二叠统哈尔苏海组; 4. 上白垩统乌兰苏海组; 5. 辉石岩; 6. 斜长角闪岩; 7. 闪长岩; 8. 正长岩; 9. 二叠纪二长花岗岩; 10. 石英脉; 11. 铌矿体及编号; 12. 稀土矿体及编号; 13. 层岩产状; 14. 角度不整合界线; 15. 实测正断层及倾角; 16. 实测逆断层及倾角

图1 灰石山矿区地质简图

Fig 1 Geological sketch map of Huishishan ore area

## 2 矿区地质特征

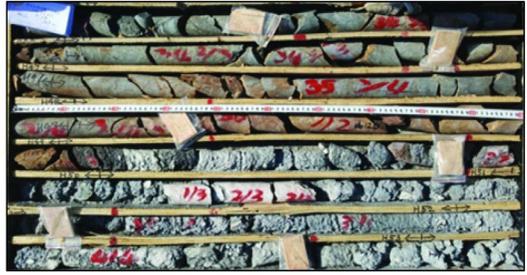
受区域构造影响,矿区各地质体总体呈 NEE 向展布,出露地层较简单,由老至新分别为古元古界北山岩群、古生界下二叠统双堡塘组与上二叠统哈尔苏海组和中生界上白垩统乌兰苏海组。双堡塘组出露最广泛,为一套滨浅海相碎屑岩、碳酸盐岩建造,岩性主要为变质砂岩、变质粉砂岩、碳质板岩、碳酸盐岩(微晶-粉晶白云岩夹微晶灰岩)等,稀土铌多金属矿床主要赋存于该套地层的碳酸盐岩中。哈尔苏海组仅在矿区西北角出露,由一套陆相沉积碎屑岩夹碳酸盐岩组成,与双堡塘组呈断层接触。乌兰苏海组仅在矿区中东部低洼处少量出露,为一套内陆湖相红色碎屑岩。

区内断裂较发育,以 NE 向、NEE 向断裂为

主,被晚期 NW 向断裂截断错位。F1 断层面呈舒缓波状,总体北倾,倾角 65°~75°。上盘主要为碳质板岩、粉砂岩,岩石受强烈挤压劈理化;下盘主要为碳酸盐岩,破碎带宽 1~2 m,带内岩石劈理化,发育构造角砾岩和断层泥。F2 断层上盘岩性主要为碳酸盐岩,下盘为泥质粉砂岩,局部为碳质板岩,破碎带宽 2~10 m,岩石极破碎,呈角砾状、粉末状,见波状光滑位错面和构造透镜体(图 2)。断层面呈舒缓波状,总体北倾,倾角 75°~80°。破碎带内透镜体展布特征及钻孔揭示,F1 和 F2 断层均为压扭性正断层。I 号稀土铌多金属矿体受 F1 和 F2 断层夹持,2 条断层近平行产出,西段近 EW 向,向东逐渐变为 NEE 向,被 NNW 向断裂错断,东西两端逐渐合并,形成总体呈 NEE 向展布的“月牙形”透镜体,长约 2 km,中间最宽处约 90 m。



(a) F2 断层破碎带中的构造透镜体



(b) F2 断层钻孔特征

图2 F2 断层野外地质特征照片

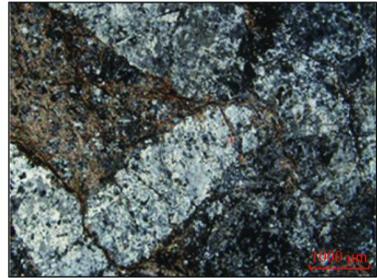
Fig. 2 Field geological characteristics of F2 fault

矿区岩浆岩极发育,以酸性岩为主,少量基性岩和中性岩,多呈岩株、岩枝、脉岩产出,总体呈 NE 向、NNE 向。以二叠纪酸性岩出露最广泛,主要分布于矿区中部,岩性以二长花岗岩为主,侵入下二叠统双堡塘组中。其次为少量闪长岩、碱性正长岩、斜长角闪石岩、辉石岩呈小岩枝、岩脉产出,均侵入下二叠统双堡塘组。其中碱性正长岩与成矿作用密切相关。正长岩新鲜面呈深灰色,半自形粒状结构,块状构造,由钾长石(约 75%)、斜长石(约 20%)及

少量黑云母(约 5%)组成(图 3)。钾长石呈近半自形板状,杂乱分布,粒度一般 2~4.5 mm,部分 5~7 mm,表面显脏,晶粒内见斜长石包体,局部见格子双晶,少数被钠长石交代,少数边缘被细粒化新晶粒环绕。斜长石呈近半自形板状,呈似填隙状分布,粒度一般 0.5~2 mm,少数 2~2.6 mm,大多数被绢云母交代呈假象,少数残留,部分具细粒化。黑云母呈鳞片状,零星分布,片径一般 0.2~1.5 mm,常见细粒变晶集合体,具不均匀绿泥石化。



(a) 正长岩手标本特征



(b) 正长岩显微镜下特征

图3 正长岩手标本及显微镜下特征

Fig. 3 Hand specimens and microscopic characteristics of the syenite

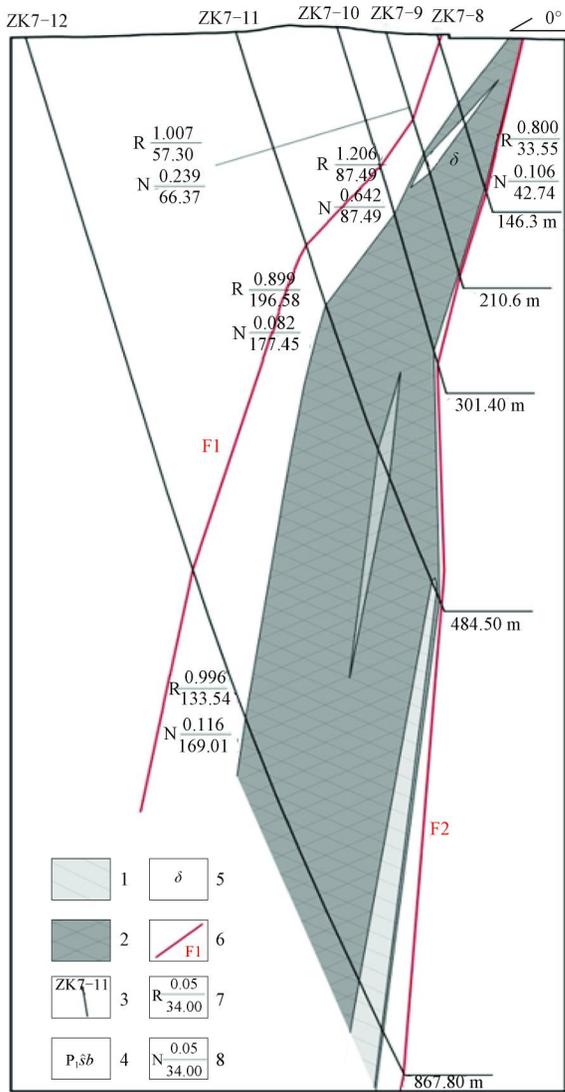
### 3 矿体地质特征

#### 3.1 矿体特征

矿区发现的主要矿体有 I 号稀土铌复合矿体和 II 号单一铌矿体。I 号稀土铌复合矿体赋存于下二叠统双堡塘组碳酸盐岩中,被 F1 和 F2 断裂夹持,顶、底板岩性均为碳质板岩、变质粉砂质泥岩和变质泥质粉砂岩(图 4)。矿体由地表 15 个探槽和深部 89 个钻孔控制,走向控制总长 1 380 m,东西两端隐伏,且逐渐趋于变薄尖灭,倾向控制最大延深 681 m,倾向未控制边界。矿体走向近 EW 向,其中西段走向 EW 向,东段走向 NEE 向,倾向 310°~

20°,倾角 47°~83°,呈层状、似层状。矿体平均厚 54 m,最厚 246 m。 $Nb_2O_5$  品位 0.05%~4.81%,平均品位 0.13%; 稀土总量(REO)品位 0.5%~6.5%,平均品位 1.02%,局部伴生磁铁矿,mFe 最高品位 33%,TFe 最高品位 40%。II 号单一铌矿体位于矿区南东部,赋存于正长岩中,岩体围岩为变质粉砂岩、变质泥质粉砂岩。地表矿体由 5 个探槽控制,厚 50~73 m,平均厚 58.12 m,长 313 m。 $Nb_2O_5$  品位 0.05%~0.11%,平均品位 0.074%。由于深部勘查工作量投入较少,未能控制矿体深部情况。矿区内目前估算  $Nb_2O_5$  资源量 15 万 t, REO 资源量 119 万 t。目前勘查成果表明,灰石山稀土铌多金属矿床深部矿化延伸稳定,厚度变大,矿石

品位较好,深部找矿潜力较好。



- 1. 钕矿体; 2. 稀土矿体; 3. 钻孔及编号; 4. 下二叠统双堡塘组;
- 5. 闪长岩; 6. 断层及编号; 7. 单工程稀土  $\frac{REO \text{ 品位}/\%}{\text{厚度}/m}$ ; 8. 单工程  $\frac{Nb_2O_5 \text{ 品位}/\%}{\text{厚度}/m}$

图4 灰石山矿区7号勘探线剖面  
 Fig. 4 Profile of line No. 7 of Huishishan ore area

### 3.2 矿石及蚀变类型

I号稀土钕复合矿体赋矿岩石主要为白云岩、灰岩和强蚀变岩。矿石结构主要为泥晶-微晶结构、半自形-它形粒状结构、鳞片变晶结构、粒状变晶结构; 矿石构造主要为块状构造、星散状构造、条带状构造、板状构造和少量角砾状构造(图5

(a)、(b)、(c))。脉石矿物以石英、铁白云石为主,其次为白云石,少量黏土矿物、黑云母、长石、方解石、磷灰石、绿泥石等。金属矿物主要为磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿,其中有微量钠黄铁钒。次要金属矿物有黄铁矿、钛铁矿、铈铁矿及少量闪锌矿、黄铜矿等(图5(d)、(e))。矿石中的有用组分为铈和稀土(以轻稀土为主),伴生铁和钍。稀土的独立矿物有独居石、氟碳铈镧矿、氟碳钙铈矿、褐帘石、磷钇矿、褐钇铈矿,可利用的稀土工业矿物为独居石。铈的独立矿物有铈铁矿、铈钙矿、褐钇铈矿,主要为铈铁矿,可利用的铈工业矿物为铈铁矿。铁的独立矿物有赤褐铁矿、磁铁矿、菱铁矿,以赤褐铁矿为主,其次为磁铁矿、菱铁矿。含铁金属矿物有钛铁矿、黄铁矿、钠黄铁钒,可利用的铁工业矿物为赤褐铁矿、磁铁矿、菱铁矿。钍的独立矿物有钍石、独居石,富集回收的钍矿物为独居石。铈铁矿多数呈它形粒状,部分呈乳滴状、蠕虫状,少数呈半自形板柱状结构。它形粒状、半自形结构的铈铁矿多呈星散状嵌布于矿石中(图5(f))。独居石主要呈它形粒状或不规则团块状嵌布。在氧化矿石中,独居石主要嵌布于石英集合体内; 在原生矿石中,独居石多数与菱铁矿、铁白云石毗邻相嵌或嵌布于其中,部分与铈铁矿、赤褐铁矿、石英、黑云母毗邻相嵌(图5(g)),或以星散状嵌布于石英、铁白云石、闪石、黑云母等脉石矿物内。矿石自然类型主要有磁铁稀土钕蚀变岩型、稀土钕蚀变岩型、磁铁钕稀土碳酸盐型和钕稀土碳酸盐型。矿石工业类型属于含钕钍低品位轻稀土矿石。

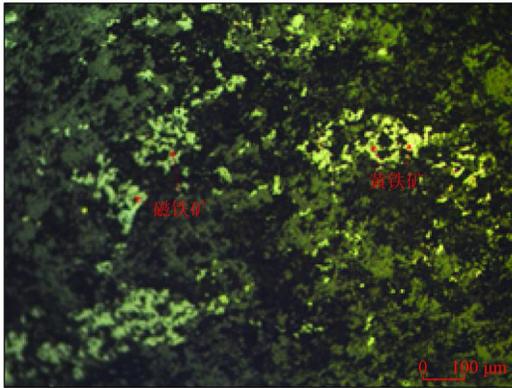
II号单一钕矿体矿石类型单一,赋矿岩石为碱性正长岩。矿石结构为半自形-它形粒状结构、细脉状结构,矿石构造为块状构造、星散状构造。脉石矿物以长石(钠长石为主,次为钾长石)为主,其次为云母类(白云母、黑云母),少量方解石、绿泥石,微量磷灰石、石英、铁白云石及黏土矿物。金属矿物含量低,主要有赤褐铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、锰矿物、铈铁矿。矿石中的主要有用组分为钕,钕的独立矿物为钕铁矿。矿石自然类型为碱性正长岩型。



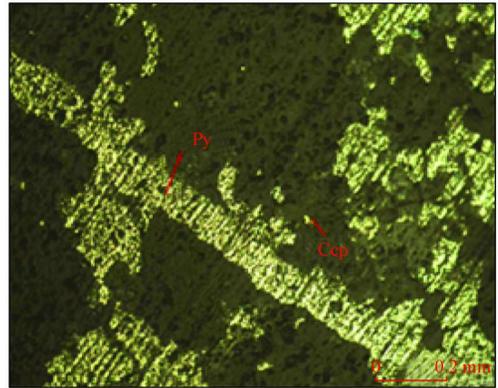
(a) 浸染状碳酸盐岩型矿石

(b) 浸染状蚀变岩型矿石

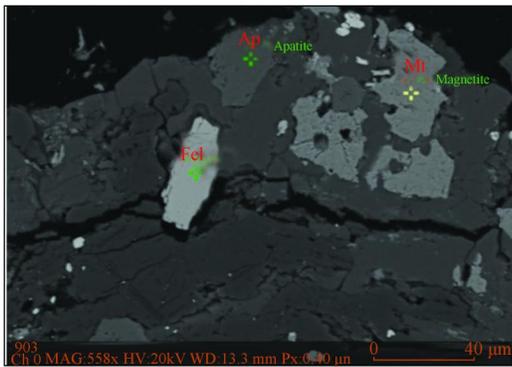
(c) 角砾状矿石



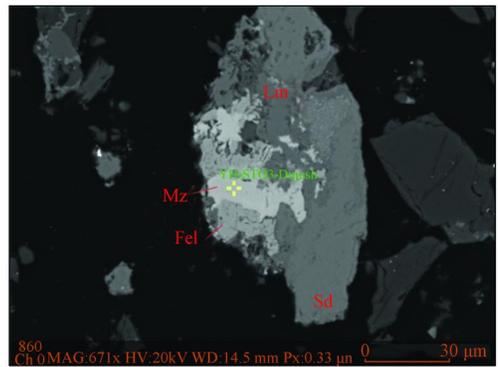
(d) 它形磁铁矿、黄铁矿



(e) 黄铁矿和黄铜矿呈星散浸染状、脉状分布



(f) 半自形铌铁矿嵌布于脉石矿物中(BSE)



(g) 独居石与铌铁矿、赤褐铁矿、菱铁矿毗邻(BSE)

Py. 黄铁矿; Ccp. 黄铜矿; Mt. 磁铁矿; Ap. 磷灰石; Lm. 褐铁矿; Sd. 菱铁矿; Fel. 铌铁矿; Mz. 独居石

图5 灰石山矿区代表性矿石手标本及矿物显微镜下特征

Fig. 5 Hand specimens and mineral microscopic characteristics of representative ores in Huishishan ore area

矿区主要蚀变类型有硅化、褐铁矿化、碳酸盐化、黄铁矿化、磁铁矿化、绿泥石化、绢云母化等,其中与成矿关系密切的为硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、磁铁矿化和绿泥石化。

## 4 讨论

### 4.1 矿床成因

灰石山稀土铌矿体与碱性正长岩关系密切。碱性正长岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 52.64% ~ 55.38%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 20.31% ~ 21.96%, (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) 含量为

8.7% ~ 11.63%, 可能形成于中二叠世后碰撞伸展构造环境, 是岩石圈板块拆沉、软流圈地幔物质底侵后幔源物质熔融部分壳源物质生成的富 K、Na 及 Nb、REE 岩浆的产物。矿区东南部呈 NE 向椭圆形产出的正长岩, 侵入下二叠统双堡塘组沉积碎屑岩, 外接触带小褶曲较发育, 表明岩浆主动侵位, II 号单一铌矿体赋存于正长岩中。I 号稀土铌复合矿体南侧(F2 断裂下盘) 见与矿体近平行出露的正长岩脉, 岩浆沿 F2 断裂被动侵位, 脉体 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量 0.01% ~ 0.03%, REO 含量 0.08% ~ 0.09%, 均已达到矿化标准, 推断灰石山稀土铌多金属矿床的成

矿作用与岩浆活动有关,碱性正长岩浆为该矿床的形成提供了物质来源。

#### 4.2 成矿模式

通过对阿拉善地区岩浆岩进行研究<sup>[7-9]</sup>,发现该区在早二叠世晚期—中二叠世处于大陆板内伸展构造环境。在伸展构造环境下,含矿正长质岩浆主动侵位,伴随岩浆结晶分异作用,不相容元素(Nb、REE等)在残余熔体中富集成矿。岩浆结晶分异后形成了灰石山Ⅱ号单一铌矿体,矿体与围岩界线清楚,该矿体为岩浆结晶分异型。部分正长质岩浆沿断裂被动侵位,随着温度和压力的进一步剧烈下降,流体与熔体发生溶离作用<sup>[10]</sup>,富含Nb、REE和挥发分(F和Cl为主)的硅质流体发生水—岩反应,在有利部位形成了稀土、铌矿床<sup>[11-14]</sup>,I号稀土铌复合矿体即形成于该过程中。该类矿床中岩石蚀变程度与稀土、铌的含量呈正相关,矿体与围岩界线不明显,矿体为岩浆期后热液交代型。此外,I号稀土铌复合矿体局部地段富集磁铁矿,磁铁矿多呈星散状,局部保留早期的条带状,铁矿体可能是早期沉积作用后形成的,后期受流体萃取、富集叠加成矿。

#### 4.3 找矿标志

碱性正长岩与成矿密切相关,是寻找稀土铌矿体的重要标志。稀土铌矿体中局部伴生磁铁矿,磁异常区是寻找该类矿床的找矿标志。与稀土铌矿体有关的岩石蚀变主要有硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、磁铁矿化,蚀变程度与稀土铌的含量呈正相关,此类岩石蚀变现象可作为寻找稀土铌矿体的找矿标志。铌、钽的地球化学异常为良好的找矿标志。

## 5 结论

(1)灰石山稀土铌矿床的成矿作用与岩浆活动有关,碱性正长质岩浆提供了成矿物质。该矿床主要有岩浆期后热液交代型和岩浆结晶分异型2种成因类型。赋存于下二叠统双堡塘组碳酸盐岩中的岩浆期后热液交代型I号稀土铌复合矿体严格受断裂控制,围岩蚀变程度与稀土、铌含量呈正相关,矿体与围岩界线不明显;赋存于正长岩中的岩浆结晶分异型Ⅱ号单一铌矿体,矿体与围岩界线即正长岩与围岩界线,且界线清晰。

(2)硅化、褐铁矿化、磁铁矿化、黄铁矿化等矿化蚀变,碱性正长岩以及铌、钽地球化学异常区是灰石山稀土铌多金属矿床重要的找矿标志。

(3)本次工作未系统采集、测试含矿正长岩同位素年龄及与成矿相关的流体包裹体等样品,建议今后进一步加强对该区成矿时代、温度、流体来源等研究。

#### 参考文献:

- [1] 王登红,郑绵平,王成辉,等.大宗急缺矿产和战略性新兴产业矿产调查工程进展与主要成果[J].中国地质调查,2019,6(6):1-11.
- [2] 王登红,王成辉,孙艳,等.我国锂铍钽矿床调查研究进展及相关问题简述[J].中国地质调查,2017,4(5):1-8.
- [3] 吴泰然,何国琦.阿拉善地块北缘的蛇绿混杂岩带及其大地构造意义[J].现代地质,1992,6(3):286-296.
- [4] 吴泰然,何国琦.内蒙古阿拉善地块北缘的构造单元划分及各单元的基本特征[J].地质学报,1993,67(2):97-108.
- [5] 王廷印,王金荣,王士政,等.阿拉善北部查干础鲁—霍尔森蛇绿混杂岩带地质地球化学特征[J].甘肃地质学报,1993,2(1):46-53,113.
- [6] 王廷印,张铭杰,王金荣,等.恩格尔乌苏冲断带特征及大地构造意义[J].地质科学,1998,33(4):385-394.
- [7] 郑荣国,吴泰然,张文,等.阿拉善地块北缘雅干花岗岩体地球化学、地质年代学及其对区域构造演化制约[J].岩石学报,2013,29(8):2665-2675.
- [8] 宫江华,张建新,王宗起,等.阿拉善地块北大山地区两类辉长岩的锆石U-Pb定年、Hf同位素及地球化学特征——对中亚造山带构造演化的启示[J].地质学报,2018,92(7):1369-1388.
- [9] 焦建刚,马泽民,鲁浩,等.阿拉善地块南缘野苕里镁铁—超镁铁质岩体锆石U-Pb年龄及其地质意义[J].大地构造与成矿学,2017,41(5):950-959.
- [10] Suk N I. Experimental study of liquid immiscibility in the fluid-magmatic silicate systems containing Ti, Nb, Sr, REE, and Zr[J]. Petrology, 2012, 20(2): 138-146.
- [11] 袁忠信,李建康,王登红,等.中国稀土矿成矿规律[M].北京:地质出版社,2012.
- [12] 侯增谦,田世洪,谢玉玲,等.川西冕宁—德昌喜马拉雅期稀土元素成矿带:矿床地质特征与区域成矿模型[J].矿床地质,2008,27(2):145-176.
- [13] 田世洪,侯增谦,杨竹森,等.川西冕宁—德昌REE成矿带成矿年代学研究:热液系统维系时限和构造控矿模型约束[J].矿床地质,2008,27(2):177-187.
- [14] 杨武斌,罗勇,单强,等.内蒙古巴尔哲稀有稀土多金属矿床特征[J].矿物学报,2009,29(增刊):266.

## Geological characteristics and genesis of the REE – Nb polymetallic deposit in Huishishan of Ejinaqi in Inner Mongolia

CHEN Haidong, WANG Zhanfu, LU Ning, ZHANG Haifeng, XIE Jianxi  
(Inner Mongolia Institute of Geological Survey and Mineral Exploration, Hohhot 010010, China)

**Abstract:** Huishishan REE – Nb polymetallic deposit located in the northern margin of Alxa Massif is a large-scale REE – Nb polymetallic deposit discovered in recent years. Through the systematic trench drilling, field geological investigation and petrographic study, the authors investigated the genesis and the ore-forming materials source of this REE – Nb deposit. The deposit is closely related with the alkali syenite and is of two different genetic types respectively magmatic crystallization differentiation type and hydrothermal metasomatism type. The metallogenic model was established by summarizing the prospecting criteria of the deposit. The hydrothermal metasomatic deposit was controlled by faults, and the syenite magma was passively emplaced along faults. Then the fluid emerged out of the melt, with the further drastic drop of the temperature and pressure. The siliceous fluid rich in Nb, REE and volatile elements (mainly F and Cl) reacted with wall rocks, and finally the REE – Nb deposits were formed in favorable places. The alteration degree of limonization, pyritization and silicification in the wall rocks of the deposit is positively related to the contents of rare earth and niobium, and the boundary between the ore body and wall rocks is not obvious. The syenite magma was proactively emplaced along faults, with crystallization differentiation. The incompatible elements (Nb, REE, etc.) enriched in the residual melt and formed the magmatic crystallization differentiated deposit in the syenite. The alkaline syenite magmatism in Huishishan area provides material source for the formation of REE – Nb polymetallic deposit.

**Keywords:** REE – Nb deposit; ore-forming model; Alxa area; Huishishan

(责任编辑: 刘永权)