

文章编号: 0258-7106(2012)05-1067-08

# 新疆西天山查岗诺尔铁矿床成矿时代

## ——来自石榴子石 Sm-Nd 等时线年龄的信息\*

洪 为<sup>1</sup>, 张作衡<sup>1</sup>, 李华芹<sup>2</sup>, 李凤鸣<sup>3</sup>, 刘兴忠<sup>4</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2 武汉地质矿产研究所, 湖北 武汉 430205; 3 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 新疆 乌鲁木齐 830000;

4 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第三地质大队, 新疆 库尔勒 841000)

**摘 要** 查岗诺尔铁矿床赋存在大哈拉军山组中-上部的安山质火山碎屑岩和火山熔岩内, 主矿体 FeI 周围发育大量以石榴子石为代表的高温热液蚀变。精确厘定高温热液蚀变的时间是确定成矿作用是与火山作用有关还是由岩体侵入作用所导致的关键。石榴子石与磁铁矿体的关系最为密切, 其形成时间稍早或同时于磁铁矿。石榴子石 Sm-Nd 同位素测试结果表明,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  值为  $0.2792 \sim 0.5481$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  值为  $0.512950 \sim 0.513501$ , 7 个样品拟合的线性关系良好, 获得的 Sm-Nd 等时线年龄为  $(316.8 \pm 6.7) \text{Ma}$ , 指示了高温热液蚀变的时间, 表明主要磁铁矿体的形成时代为早石炭世晚期, 成矿作用及高温热液蚀变可能不是矿区内二叠纪岩体侵入携带的岩浆热液与大理岩发生矽卡岩化所导致, 而可能是大哈拉军山组火山岩喷发后的岩浆期后热液与下伏大理岩发生接触交代反应引起的。

**关键词** 地球化学; 成矿时代; 石榴子石 Sm-Nd 等时线年龄; 查岗诺尔铁矿; 西天山; 新疆

中图分类号: P618.31

文献标志码: A

## Metallogenic epoch of Chaganuoer iron deposit in western Tianshan Mountains, Xinjiang: Information from garnet Sm-Nd isochron age

HONG Wei<sup>1</sup>, ZHANG ZuoHeng<sup>1</sup>, LI HuaQin<sup>2</sup>, LI FengMing<sup>3</sup> and LIU XingZhong<sup>4</sup>

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;

2 Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430205, Hubei, China; 3 Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Development, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 4 No. 3 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Development, Korla 841000, Xinjiang, China)

### Abstract

The large-size Chaganuoer iron deposit is hosted in andesite and andesitic volcanoclastic rocks in the middle-upper part of Carboniferous Dahalajunshan Formation, with widespread high hydrothermal alteration (represented by garnet) distributed extensively around the uppermost ore body FeI. The precise formation age of high hydrothermal alteration is the key to judging whether iron metallogeny was related to volcanism or intrusive activity. Garnet, which had a closely genetic relationship with magnetite, was formed simultaneously with or slightly earlier than magnetite. Garnet Sm-Nd isotope analyses reveal that  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  values vary between 0.2792 and 0.5481 while  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios vary between 0.512950 and 0.513501. Data of seven isotope sam-

\* 本文得到国家重点基础研究发展计划(2012CB416803)、国家科技支撑计划(2011BAB06E02-05)和地质矿产调查评价项目(1212011085060)联合资助

第一作者简介 洪 为,男,1986年生,博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: hongwei\_86@hotmail.com

收稿日期 2012-04-15; 改回日期 2012-08-23。许德焕编辑。

ples form a good linear fitting relationship, yielding the Sm-Nd isochron age of  $(316.8 \pm 6.7)$  Ma, which represents the formation epoch of high-temperature hydrothermal alteration. The result indicates that magnetite intergrown with garnet was formed at the late stage of Early Carboniferous period. Therefore, the iron metallogeny and high hydrothermal alteration might have resulted from the metasomatism between the post-magmatic hydrothermal solution derived from eruption of Dahalajunshan Formation volcanic rocks and the underlying marble, rather than the skarnization caused by the reaction between magmatic hydrothermal solution from Permian intrusion and marble in the ore district.

**Key words:** geochemistry, metallogenic epoch, garnet Sm-Nd isochron age, Chaganguoer iron ore deposit, Western Tianshan Mountains, Xinjiang

查岗诺尔铁矿床是西天山阿吾拉勒铁矿带东段的一个大型铁矿床。近年来,对该矿床的赋矿围岩、火山岩形成环境、矿床地质特征、矿床地球化学、典型矿物的矿物学特征、铁成矿沉淀机制等开展了较多的研究工作(徐祖芳,1984;冯金星等,2010;汪帮耀等,2011a,2011b;洪为等,2012a,2012b)。关于该矿区内大哈拉军山组火山岩的形成时代,有不同年龄数据的报道,汪帮耀等(2011b)与蒋宗胜等(2012)测得的该组流纹岩的 U-Pb 锆石年龄相差约 20 Ma,表明该组火山岩的成分比较复杂,矿区内可能存在多期火山活动。虽然大哈拉军山组安山质火山碎屑岩或凝灰岩是查岗诺尔铁矿床的赋存围岩,但是,火山岩的形成年龄能否代表铁矿床的成矿年龄则值得商榷,况且,矿区内火山岩的年龄在不同的文献中还存在较大的差异。另一方面,查岗诺尔铁矿内广泛发育以石榴子石-方柱石-透辉石-阳起石为代表的高温热液蚀变,蚀变矿物(如石榴子石)稍早于或与磁铁矿几乎同时形成,这种跟成矿关系密切的高温热液蚀变,是与火山作用派生的岩浆期后热液作用有关,还是由矿区内出露或隐伏的花岗岩体的侵入所提供的岩浆热液所引起的,目前尚不清楚。因此,准确厘定高温热液蚀变的时代便是关键问题,但缺乏可靠的定年方法和矿物,是目前定年的难点。

Sm、Nd 均为稀土元素,其地球化学性质相似,Sm-Nd 体系的保存性能良好,抗蚀变和变质作用的能力较强,因此,Sm-Nd 法等时线年龄和模式年龄是基性-超基性岩、古老变质岩年代学研究的较好方法,能代表原岩生成的时间和反映出成岩物质源区的特性(陈文等,2011)。也有将 Sm-Nd 等时线年龄法用于确定矿床形成时代且取得良好效果的报道(姬金生等,1999;Li et al.,2004;李华芹等,2006;张家菁等,2008;Barker et al.,2009;Oberthür et al.,2009)。因此,本文拟挑选出与磁铁矿密切共生、分

布广泛的脉石矿物(石榴子石),进行 Sm-Nd 等时线年龄研究,尝试精确测定高温热液蚀变(矽卡岩化)的时间,对比火山岩的形成年龄和矿区花岗岩的侵位时代,以讨论铁矿床的成矿时代和形成机制。

## 1 矿区地质特征

西天山位于准噶尔板块与塔里木板块之间,以依连哈比尔尕断裂带为北界,以长阿吾子-乌瓦门缝合带为南界,向西延入哈萨克斯坦,向东止于库米什一带,总体上呈向东收敛的楔形(图 1a)。区域上出露的地层有元古界、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系和第四系,以石炭系大哈拉军山组、伊什基里克组分布最为广泛。大哈拉军山组为一套分布广泛、厚度大、岩性复杂的中-酸性火山-沉积碎屑岩夹碳酸盐岩建造。此外,分布有大量石炭纪、二叠纪花岗岩类侵入岩和少量的志留纪和泥盆纪花岗岩类侵入岩。关于大哈拉军山组的沉积构造环境还存在较大的争议,但愈来愈多的研究表明,该组地层与海相钙碱性火山岛弧或大陆边缘岛弧具有可比性(姜常义等,1995;朱永峰等,2006;Zhu et al.,2005,2009;钱青等,2006;龙灵利等,2008;李永军等,2009;李继磊等,2010;汪帮耀等,2011b;蒋宗胜等,2012)。

查岗诺尔铁矿区内出露的地层主要为石炭系大哈拉军山组( $C_{1d}$ )和伊什基里克组( $C_{2y}$ )。矿床赋存于大哈拉军山组中-上部的火山碎屑岩和火山熔岩中,其岩性以安山质晶屑岩屑凝灰岩为主,局部夹透镜状大理岩,偶见玄武岩、粗面安山岩和流纹岩等。大哈拉军山组主要分布在该矿区的西南部,有少量出露于矿区的东北翼,伊什基里克组主要分布在该矿区的东南部(图 1b)。NW 向、NNW 向、NE 向断裂带横贯整个矿区,因而,矿体亦受到这些断裂

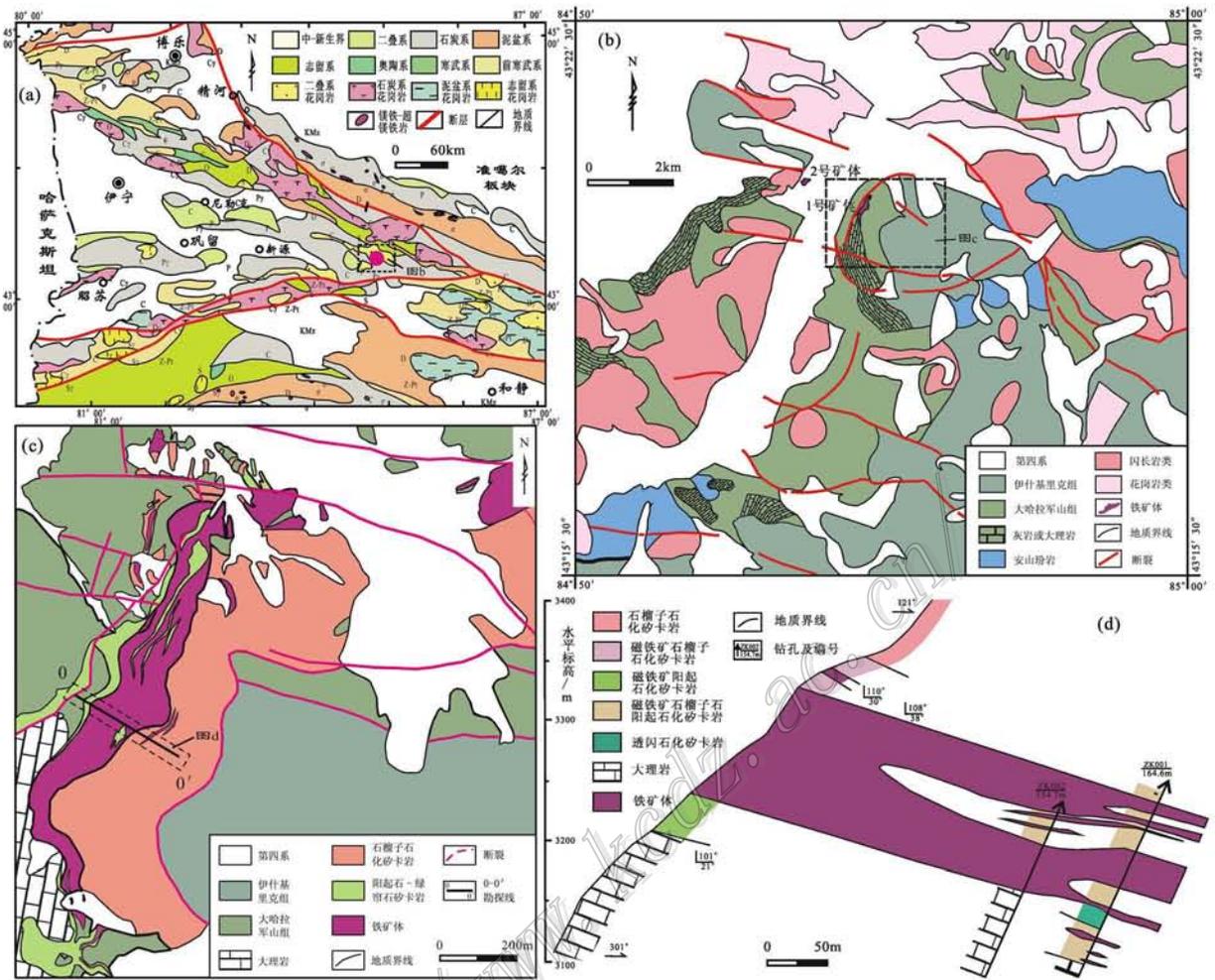


图1 西天山地质简图(a),查岗诺尔矿区地质图(b),查岗诺尔Fe I矿体特征(c)和0—0'勘探线剖面(d)

图1a引自李凤鸣等,2011;图1b、c和d引自冯金星等,2010

Fig. 1 Simplified regional geological map of western Tianshan Mountains (a), geological map of the Chagangnuoer ore district (b), features of Fe I ore body (c), and geological section along 0—0' exploration line in the Chagangnuoer iron deposit (d)

Fig. 1a after Li et al., 2011; Fig. 1b, c and d modified after Feng et al., 2010

及环形断裂构造的控制(图1c)。矿区内侵入岩较为发育,主要呈岩株、岩枝、岩墙状,少见呈岩基状,矿区南部和东侧出露少量安山玢岩,中部产出大量的闪长岩类岩体,东北部则发育较多的花岗岩类岩体(图1b)。另外,矿体周围分布有少量的煌斑岩、英安斑岩等岩脉。

该矿区以查汗乌苏河为界,分为东部的Fe I矿体和西部的Fe II矿体(图1b),亦是规模最大的两个矿体,此外还圈出了4个小矿体,总矿石资源量超过2.1亿吨。Fe I矿体为主矿体,其资源量占总资源量的95%以上,平面上呈NE向展布,总体上向东倾斜,中段显著膨大,向北被第四系覆盖,向南逐渐尖

灭,长约3 km,平均厚度64.21 m,  $\omega(\text{TFe})$ 平均为35.61%,自东向西可划分出石榴子石砂卡岩蚀变带、铁矿体、阳起石-绿帘石砂卡岩蚀变带和大理岩蚀变带(图1c)。矿体形态比较规则,呈层状、似层状、透镜状,具分枝复合、膨大狭缩的特征。其顶板为安山质凝灰岩,底板产出透镜状大理岩,自上而下依次为安山质凝灰岩、石榴子石砂卡岩、磁铁矿-石榴子石砂卡岩、磁铁矿体、石榴子石-阳起石砂卡岩、透闪石砂卡岩、绿泥石-绿帘石化安山岩及大理岩(图1d)。

矿石构造以角砾状、斑点状、斑杂状、豹纹状、浸染状构造为主,其次是块状或致密块状构造;矿石结

构常见有交代结构、填隙结构、共生边结构和他形-半自形粒状结构等。矿石矿物主要为磁铁矿,伴生少量的黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿、镜铁矿等;脉石矿物发育有石榴子石、阳起石、绿帘石、绿泥石、透辉石、透闪石、方解石和石英等。

以石榴子石为代表的高温热液蚀变在矿体周围广泛发育,与磁铁矿化的关系最为密切,至少可区分出2期石榴子石化,早期的石榴子石为土黄色、褐黄色,粒径较细小( $<0.2\text{ mm}$ ),呈不规则的粒状或纤维状,多分布在下部矿体的周围,与细粒的磁铁矿共存,如在斑杂状的磁铁矿石中(图2a),细粒状的石榴子石呈褐黄色(带黄绿色调),较为自形,在其间隙内充填有他形的磁铁矿或黄铁矿(图2b),形成时间稍早于磁铁矿或与磁铁矿同时;晚期的石榴子石呈褐红色、红褐色,晶形完好,粒径粗大(图2c),可达 $2\text{ mm}$ ~ $2\text{ cm}$ ,显微镜下常见其具有环带结构(图2d),多分布在矿体的上部,可能是因为矿体上部发育各种断裂或裂隙、处于较为开放的空间,有利于石榴子石的

缓慢生长、结晶和析出。

石榴子石的端员组分主要为钙铁榴石(61.6%)、钙铝榴石(35.5%)以及铁铝榴石和锰铝榴石(两者之和小于3.0%)。关于石榴子石等矽卡岩矿物与铁成矿的关系详见洪为等(2012a)。贫矿和含矿矽卡岩中石榴子石的稀土元素配分模式均呈现出弱正Eu异常、轻稀土元素相对亏损、重稀土元素相对富集的左倾型特征。洪为等(2012b)讨论了石榴子石等矿物的微量元素对成矿作用的制约。

根据矿石组构、矿物共生特征,可划分出2个成矿期,即岩浆成矿期和热液成矿期,后者可分为矽卡岩亚期和石英-硫化物亚期。进一步又可细分为6个成矿阶段:岩浆成矿期可分为磁铁矿-透辉石阶段和绿泥石-黄铁矿阶段;热液成矿期可分为磁铁矿-石榴子石-阳起石阶段、绿帘石-绿泥石阶段(矽卡岩亚期)及硫化物阶段、石英-碳酸盐阶段(石英-硫化物亚期)。成矿期次及阶段的详细划分见洪为等(2012b)。

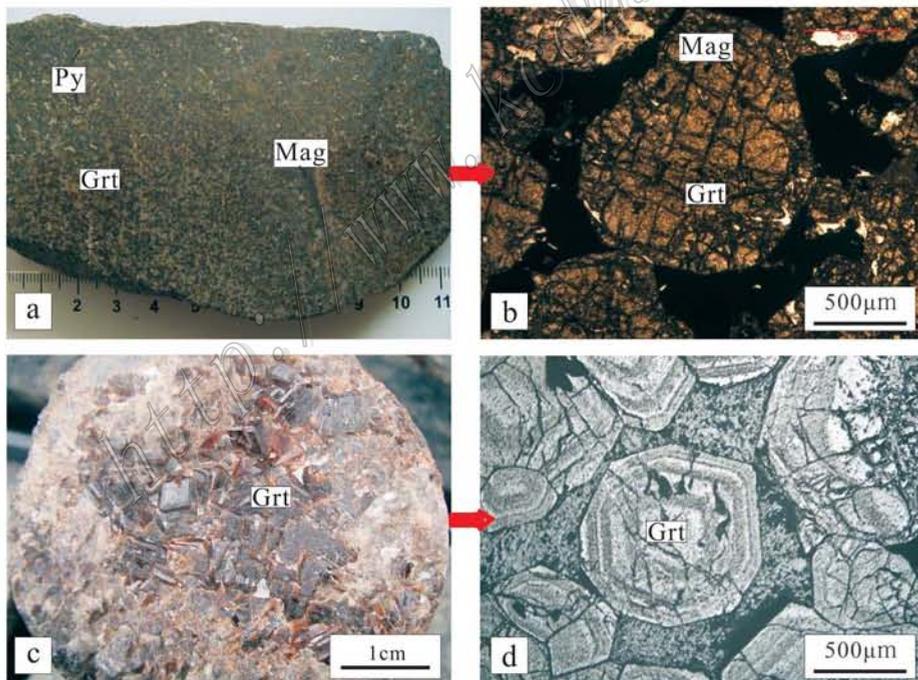


图2 查岗诺尔铁矿床石榴子石特征

a. 斑杂状矿石,石榴子石(Grt)呈细粒状,磁铁矿(Mag)和黄铁矿(Py)充填于石榴子石的间隙; b. 单偏光下,斑杂状矿石的充填结构,石榴子石呈较自形粒状,磁铁矿分布在石榴子石的间隙内; c. 红褐色的石榴子石,晶形完好、粒径粗大; d. 反射光下,晶形完好的石榴子石呈现环带结构

Fig. 2 Characteristics of garnets from the Chagangnuoer iron deposit

a. Taxitic ore, garnet (Grt) in spotted and mottled forms; magnetite (Mag) and pyrite (Py) filled in crevices of gangue minerals; b. Comparatively euhedral garnet and anhedral magnetite occurring as intersertal texture in taxitic ore, under transmitted light; c. Reddish brown garnet with fine crystal form and coarse size; d. Under reflected light, the garnet with fine crystal form assuming zonal texture

## 2 石榴子石 Sm-Nd 等时线定年

### 2.1 采样位置及样品描述

7 件样品均采自 Fe I 矿体。CG-001 样品采自 ZK3001 钻孔 395 m 处,为角砾状磁铁矿矿石,在斑点状砖红色石榴子石中分布有呈角砾状的磁铁矿。CG-002 样品采自 ZK3001 钻孔 396 m 处,为石榴子石砂卡岩,含辉石、阳起石等矿物。CG-009 样品采自 ZK3002 钻孔 146 m 处,为粗晶石榴子石(80% 以上粒径为 0.2~1 cm)砂卡岩。CG-015 样品采自 ZK2201 钻孔 220 m 处,为角砾状磁铁矿矿石,磁铁矿呈角砾状、椭圆状被砖红色石榴子石胶结。CG-184 样品采自 ZK4001 钻孔 427 m 处,为块状磁铁矿矿石。CG-187 样品采自 ZK4001 钻孔 266 m 处,为角砾状磁铁矿矿石。CG-252 样品采自 PD3170 平硐,为粗晶石榴子石砂卡岩。

将样品破碎至 20~40 目,在双目镜下挑选出纯度达 99% 的石榴子石单矿物,然后将其在玛瑙研钵中研磨成 200 目以下的粉末,用超纯水和稀盐酸以超声波清洗,除去矿物表面的杂质,以备进行同位素测试。

### 2.2 Sm-Nd 等时线定年方法

Sm-Nd 同位素测定方法流程详见李华芹等(1998)报道。 $w(\text{Sm})$  和  $w(\text{Nd})$  及 Nd 同位素比值采用同位素稀释法和质谱仪直接测定。同位素测试在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所同位素实验室完成,测试仪器为 N-Triton 可调多接受固体质谱仪。在测试过程中,使用标准物质 J.M.C Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 监控仪器工作状态,用 Sm-Nd 国家一级标准物质 GBW04419 监控分析流程。质量分馏用(<sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)=0.7291 校正。标准测定结果:GBW04419 的 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd=0.512725±0.000008(2σ), <sup>147</sup>Sm/

<sup>144</sup>Nd 和 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 比值的精度分别优于 0.0007% 和 0.5%。全部操作均在净化柜里进行,使用的全部器皿均由铂金氟塑料和高纯石英制成,所用试剂经亚沸蒸馏器纯化。Sm、Nd 的全流程空白分别为 2×10<sup>-10</sup> g 和 5×10<sup>-11</sup> g,同位素分析结果采用 Ludwig(2003)的 Isoplot 程序计算。衰变常数 λ(<sup>147</sup>Sm)=6.54×10<sup>-12</sup>a<sup>-1</sup>。

### 2.3 Sm-Nd 同位素测试结果

7 件石榴子石样品的 Sm-Nd 同位素测试结果见表 1。其  $w(\text{Sm})$ 、 $w(\text{Nd})$  分别为 1.923×10<sup>-6</sup>~3.895×10<sup>-6</sup>、2.123×10<sup>-6</sup>~7.907×10<sup>-6</sup>; <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd 值为 0.2317~0.5481, <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 值为 0.512950~0.513501, 1σ 值均小于 0.00001。石榴子石 Sm-Nd 同位素测试结果经过线性拟合,获得了图 3 所示的石榴子石 Sm-Nd 等时线年龄。由该图可知,由 7 个石榴子石样品所拟合的直线,线性关系良好,直线斜率所对应的等时线年龄为(316.8±6.7)Ma(MSWD=1.9),代表了石榴子石的结晶时间,初始 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 值为 0.512368±0.000017(2σ)。

## 3 讨论

如前所述,对区域上大哈拉军山组火山-沉积岩系的沉积构造环境有不同的认识,但查岗诺尔矿区内的火山岩属于钙碱性-高钾钙碱性-碱玄岩系列,暗示其形成环境可能为岛弧环境或大陆边缘弧环境(汪帮耀等,2011b;蒋宗胜等,2012)。另一方面,大哈拉军山组火山岩的形成时代在不同地区跨度较大,从西天山西段巩留-特克斯地区和吐拉苏盆地的晚泥盆世(~360 Ma,朱永峰等,2006;Zhu et al., 2009;翟伟等,2006)到中部新源城南沿那拉提北坡的早石炭世(~354 Ma, Zhu et al., 2005, 2009),一直

表 1 查岗诺尔铁矿床石榴子石 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 1 Sm-Nd isotope values of garnet from the Chagangnuoer iron deposit

序号	原样品号	样品名称	$w(\text{Sm})/10^{-6}$	$w(\text{Nd})/10^{-6}$	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	1σ
1	CG-001	石榴子石(角砾状矿石)	1.923	2.123	0.5481	0.513501	0.000008
2	CG-002	石榴子石(砂卡岩)	3.028	7.907	0.2317	0.512847	0.000007
3	CG-009	石榴子石(砂卡岩)	3.736	5.308	0.4258	0.513248	0.000005
4	CG-015	石榴子石(角砾状矿石)	3.890	5.12	0.4596	0.513327	0.000005
5	CG-184	石榴子石(块状矿石)	2.773	6.008	0.2792	0.512950	0.000003
6	CG-187	石榴子石(角砾状矿石)	3.355	5.848	0.3471	0.513082	0.000004
7	CG-252	石榴子石(砂卡岩)	3.895	5.513	0.4275	0.513257	0.000007

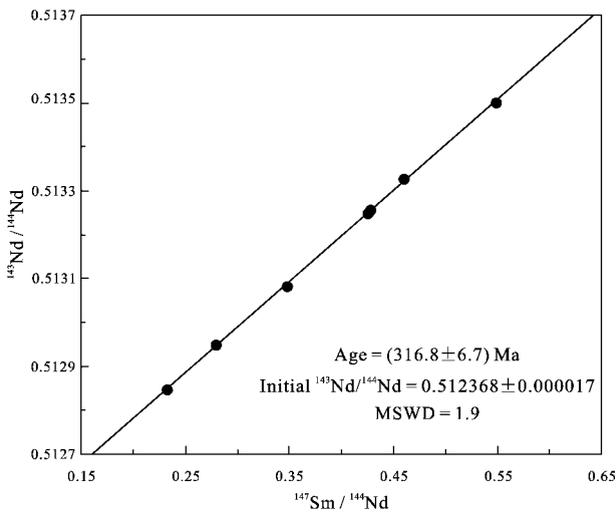


图3 查岗诺尔铁矿区石榴子石 Sm-Nd 等时线年龄

Fig. 3 Sm-Nd isochron age of garnet from the Chagangnuoer iron deposit

变化到东段拉尔敦达坂一带( ~312 Ma, Zhu et al., 2005, 2009)以及备战铁矿区( ~301 Ma, Zhang et al., 2012)的晚石炭世, 沿着西天山南、北缘, 该组火山岩的年龄总体呈现出自西向东逐渐变年轻的趋势。即使在较小范围内的不同层位, 火山岩的时代也不尽相同(如查岗诺尔矿区相差 ~20 Ma, 汪帮耀等 2011b, 蒋宗胜等 2012), 其形成可能是多旋回火山活动的结果。正因如此, 朱永峰等(2006)、李永军等(2009)建议解体并重新划分“大哈拉军山组”火山-沉积岩系。大哈拉军山组赋矿火山岩的地质、地球化学特征和形成时代的复杂性, 使得利用火山岩的喷发年龄来代表成矿时代的做法值得商榷, 因而, 需要应用与铁成矿关系更为紧密的其他定年方法来限定成矿时代的阈值。

虽然 Sm-Nd 体系被视为研究基性-超基性岩、年轻火成岩和变质地质事件的良好工具, 但已有的成矿年代学研究(姬金生等, 1999; Li et al., 2004; 李华芹等, 2006; 张家菁等, 2008; Barker et al., 2009; Oberthür et al., 2009)表明, 倘若采样位置准确、挑选矿物的方法得当、实验过程控制良好, 那么, 可以获得较好的 Sm-Nd 等时线年龄来厘定矿床的形成时代。本研究的样品均采自查岗诺尔铁矿区 Fe I 矿体, 是与磁铁矿密切共生的石榴子石矽卡岩或铁晶石, 均为矽卡岩成矿期的产物, 石榴子石的形成时间稍早于磁铁矿或与磁铁矿同时。碎样、挑样、分离、研磨等工作均系笔者亲自完成, 能够保证样品的纯

度。对矿区样品开展的流体包裹体观测发现, 石榴子石比较纯净, 几乎找不到包裹体。7 件样品的 Sm/Nd 比值为 0.3830 ~ 0.9058, 变化较大, 满足 Sm-Nd 等时线定年的基本前提条件。获得的石榴子石 Sm-Nd 等时线为  $(316.8 \pm 6.7) \text{ Ma}$ , 稍晚于汪帮耀等(2011b)报道的矿区火山岩的形成年代( ~321 Ma), 而与蒋宗胜等(2012)所测得的矿区火山岩的形成时代( ~302 Ma)相差较大, 但是, 这 7 件样品经拟合后, 线性关系良好, 误差范围为  $\pm 6.7 \text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 1.9$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  初始值为  $0.512368 \pm 0.000017 (2\sigma)$ , 具有较高的可信度。

该矿床平面上的围岩蚀变带, 具有典型矽卡岩型成矿蚀变的特点(图 1c)。该矿床发育由钙铁榴石-钙铝榴石系列、透辉石-钙铁辉石系列组成的钙质矽卡岩, 与国内外典型矽卡岩型铁矿中产出的矽卡岩特征矿物具有可比性, 而且, 磁铁矿的主要组分与矽卡岩型成因的磁铁矿成分近似, 指示出矽卡岩化对铁成矿有着重要贡献(洪为等, 2012a)。岩浆期磁铁矿的稀土元素配分模式大致呈轻、重稀土元素较富集而中稀土元素亏损的 U 型, 富 Ti、V、Cr, 这可能与安山质岩浆的结晶分异作用有关, 矽卡岩期磁铁矿的  $\Sigma\text{REE}$  极低, 仅有少数轻稀土元素高于检测限, 略富集 Ni、Co 和 Cu, 而矽卡岩期含矿和贫矿矽卡岩中石榴子石的稀土元素呈重稀土元素富集、轻稀土元素亏损、弱正 Eu 异常的分布型式, 显示出交代成因石榴子石的特征, 指示了受岩体的影响较小, 暗示出与其共生的磁铁矿也是通过流体与围岩地层的交代作用生成的, 铁质来自围岩(洪为等, 2012b)。

该矿床内石榴子石的 Sm-Nd 等时线年龄为  $(316.8 \pm 6.7) \text{ Ma}$ , 反映了石榴子石结晶的时代, 同时指示出以石榴子石化为代表的高温热液蚀变(即矽卡岩化)的形成时间。从矿物组合、矿石组构、围岩蚀变、典型矿物的地球化学的特征来看, 查岗诺尔铁矿区虽然赋存于大哈拉军山组地层, 铁成矿与该套火山岩的形成有关联, 但是, 从笔者已有的研究结果来看, 铁成矿作用实际上应该是矽卡岩化(及其退化蚀变)的过程。因此, 与矿区火山岩的形成年龄相比较, 由石榴子石 Sm-Nd 等时线年龄所厘定的高温热液蚀变的时间与铁矿的成矿时代更为接近, 即查岗诺尔铁矿床的主体成矿时代约为 317 Ma, 属早石炭世晚期, 稍晚或几乎同期于火山活动的时间。而距矿体较近的北部的正长花岗岩为二叠纪侵入岩体(小于 295 Ma, 目前尚未获得准确的年龄), 与石榴

石榴石的 Sm-Nd 等时线年龄可能相差较大,并且,岩体周围未见矿化,仅发育绿泥石-绿帘石蚀变,故笔者认为,该岩体对矽卡岩化和矿化的影响较小,这与石榴子石和磁铁矿的稀土及微量元素研究成果可相互验证。因此,铁成矿作用及其高温热液蚀变可能并非由岩体侵入携带的岩浆热液与大理岩发生矽卡岩化(典型矽卡岩化)所导致,而可能与矿区内大哈拉军山组火山岩喷发后的岩浆期后热液与下伏透镜状大理岩发生接触交代反应紧密相关(国内学者通常称之为“类矽卡岩化”),后期的多旋回火山活动亦可能提供了少量的成矿热液。铁成矿的整个持续过程都处于西天山造山带的构造体制由俯冲、碰撞造山挤压转向碰撞的伸展、拉张的区域构造格局之中(Zhao et al., 2008; Tang et al., 2010; Long et al., 2011)。

## 4 结 论

查岗诺尔铁矿床发育以石榴子石为代表的高温热液蚀变,围岩蚀变具有典型矽卡岩型矿床蚀变特征。

石榴子石在矿体周围广泛发育,与磁铁矿体的关系最为密切,其形成时间稍早或同时于磁铁矿。

石榴子石的 Sm-Nd 等时线年龄为(316.8 ± 6.7) Ma,代表了高温热液蚀变的时间,表明与石榴子石共生的磁铁矿体的形成时代为早石炭世晚期。成矿作用及其高温热液蚀变可能不是矿区二叠纪岩体侵入携带的岩浆热液与大理岩发生矽卡岩化所导致,而可能是大哈拉军山组火山岩喷发后的岩浆期后热液与下伏透镜状大理岩发生接触交代反应(或“类矽卡岩化”)引起的。

志 谢 野外工作期间得到了新疆地矿局第三地质大队和新疆和静县和合矿业有限公司的领导和职工的支持和帮助;同位素测试得到了中国地质调查局宜昌地质矿产研究所同位素实验室的协助;评审老师提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心的感谢。

## 参考文献/References

陈 文,万渝生,李华芹,张宗清,戴植,施泽恩,孙敬博. 2011. 同位素地质年龄测定技术及应用[J]. 地质学报, 85(11): 1917-1947.

- 冯金星,石福品,汪帮耀,胡建明,王江涛,田敬全. 2010. 西天山阿吾拉勒成矿带火山岩型铁矿[M]. 北京:地质出版社. 92页.
- 洪 为,张作衡,赵 军,王志华,李凤鸣,石福品,刘兴忠. 2012a. 新疆西天山查岗诺尔铁矿床矿物学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 31(2): 191-211.
- 洪 为,张作衡,蒋宗胜,李凤鸣,刘兴忠. 2012b. 新疆西天山查岗诺尔铁矿床磁铁矿和石榴子微量元素特征对矿床成因的制约[J]. 岩石学报, 28(7): 2089-2102.
- 姬金生,李华芹,张连昌,杨兴科,丰成友. 1999. 东天山晚古生代火山岩区磁铁矿绿泥石建造金矿床 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素年龄[J]. 科学通报, 44(4): 439-442.
- 姜常义,吴文奎,张学仁,崔尚森. 1995. 从岛弧向裂谷的变迁——来自阿吾拉勒地区火山岩的证据[J]. 岩石矿物学杂志, 14(4): 289-300.
- 蒋宗胜,张作衡,侯可军,洪 为,王志华,李凤鸣,田敬全. 2012. 西天山查岗诺尔和智博铁矿区火山岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 28(7): 2074-2088.
- 李凤鸣,彭湘萍,石福品,周昌平,陈建中. 2011. 西天山石炭纪火山-沉积盆地铁锰矿成矿规律浅析[J]. 新疆地质, 29(1): 55-60.
- 李华芹,谢才富,常海亮,蔡 红,朱家平,周 肃. 1998. 新疆北部有色金属矿床成矿年代学[M]. 北京:地质出版社. 10-25.
- 李华芹,路远发,王登红,陈毓川,杨红梅,郭 敬,谢才富,梅玉萍,马艳丽. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成矿时代的厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 52(1): 113-121.
- 李继磊,钱 青,高 俊,苏 文,张 喜,刘 新,江 拓. 2010. 西天山昭苏东南部阿登套地区大哈拉军山组火山岩及花岗岩侵入体的地球化学特征、时代和构造环境[J]. 岩石学报, 26(10): 2913-2924.
- 李永军,李注仓,周继兵,高占华,高永利,佟黎明,刘 静. 2009. 西天山阿吾拉勒一带石炭系岩石地层单位厘定[J]. 岩石学报, 25(6): 1332-1340.
- 龙灵利,高 俊,钱 青,熊贤明,王京彬,王玉往,高立明. 2008. 西天山伊犁地区石炭纪火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 699-710.
- 钱 青,高 俊,熊贤明,龙灵利,黄德志. 2006. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境[J]. 岩石学报, 22(5): 1307-1323.
- 汪帮耀,胡秀军,王江涛,邵青红,凌锦兰,郭娜欣,赵彦锋,夏昭德,姜常义. 2011a. 西天山查岗诺尔铁矿床地质特征及矿床成因研究[J]. 矿床地质, 30(3): 385-402.
- 汪帮耀,姜常义. 2011b. 西天山查岗诺尔铁矿区石炭纪火山岩地球化学特征及岩石成因[J]. 地质科技情报, 30(6): 18-27.
- 徐祖芳. 1984. 新疆查铁矿主矿体赋矿岩石的成因探讨[J]. 新疆地质, 2(2): 30-47.
- 翟 伟,孙晓明,高 俊,贺小平,梁金龙,苗来成,吴有良. 2006. 新疆阿希金矿床赋矿围岩——大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1399-1404.
- 张家菁,梅玉萍,王登红,李华芹. 2008. 赣北香炉山白钨矿床的同位素年代学研究及其地质意义[J]. 地质学报, 82(7): 928-931.
- 朱永峰,周 晶,宋 彪,张立飞,郭 璇. 2006. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案[J]. 中国地质, 33(3):

487-497.

- Barker S L L , Bennett V C , Cox S F , Norman M D and Gagan M K. 2009. Sm-Nd , Sr , C and O isotope systematics in hydrothermal calcite-fluorite veins : Implications for fluid-rock reaction and geochronology[ J ]. Chem. Geol. , 268( 1-2 ) : 58-66.
- Li X H , Liu D Y , Sun M , Li W X , Liang X R and Liu Y. 2004. Precise Sm-Nd and U-Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite , SE China[ J ]. Geological Magazine , 141( 2 ) : 225-231.
- Long L , Gao J , Klend R , et al. 2011. Geochemical and geochronological studies of granitoid rocks from the Western Tianshan Orogen : Implications for continental growth in the southwestern Central Asian Orogenic Belt[ J ]. Lithos , 126 : 321-340.
- Ludwig K R. 2003. User 's manual for Isoplot 3.00 : A geochronological toolkit for Microsoft Excel[ M ]. Berkeley : Geochronology Center. Special Publication , No. 4. 77p.
- Oberthür T , Melcher F , Henjes-Kunst F , Gerdes A , Stein H , Zimmerman A and Ghorfi M E. 2009. Hercynian age of the cobalt-nickel-arsenide( gold ) ores , Bou Azzer , Anti-Atlas , Morocco : Re-Os , Sm-Nd , and U-Pb age determinations[ J ]. Econ. Geol. , 104 : 1065-1079.
- Tang G , Wang Q , Wyman D A , Sun M , Li Z , Zhao Z , Sun W , Jia X and Jiang Z. 2010. Geochronology and geochemistry of Late Paleozoic magmatic rocks in the Lamasu-Dabate area , northwestern Tianshan( west China ) : Evidence for a tectonic transition from arc to post-collisional setting[ J ]. Lithos , 119( 3-4 ) : 393-411.
- Zhang Z H , Hong W , Jiang Z S , Duan S G , Xu L G , Li F M , Guo X C and Zhao Z G. 2012. Geological characteristics and zircon U-Pb dating of volcanic rocks from the Beizhan iron deposit in western Tianshan Mountains , Xinjiang , NW China[ J ]. Acta Geologica Sinica( English Edition ) , 86( 3 ) : 737-747.
- Zhao Z H , Xiong X L , Wang Q , Wyman D A , Bao Z W , Bai Z H and Qiao Y L. 2008. Underplating-related adakites in Xinjiang Tianshan , China[ J ]. Lithos , 102( 1-2 ) : 374-391.
- Zhu Y F , Zhang L F , Gu L B , Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains[ J ]. Chinese Science Bulletin , 50( 19 ) : 2201-2212.
- Zhu Y F , Guo X , Song B , Zhang L F and Gu L B. 2009. Petrology , Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and zircon chronology of the Late Palaeozoic volcanic rocks in the southwestern Tianshan Mountains , Xinjiang , NW China[ J ]. Journal of the Geological Society , 166( 6 ) : 1085-1099.

<http://www.kcdz.com>