编号:0258-7106(2011)03-0385-18

西天山查岗诺尔铁矿矿床地质特征及矿床成因研究

汪帮耀¹²,胡秀军³,王江涛³,邵青红³,凌锦兰¹,郭娜欣¹, 赵彦锋¹,夏昭德¹,姜常义^{1,2**}

(1长安大学地球科学与资源学院,陕西西安 710054;2西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西西安 710054;3新疆地质矿产局第三地质大队,新疆库尔勒 841000)

摘 要 查岗诺尔铁矿区位于西天山伊犁地块东北缘博罗科努山系的主脊线上,属中天山北缘活动陆缘带。 该矿区位于破火山口的西北缘,矿体产状受火山穹窿构造的制约。赋矿围岩为下石炭统大哈拉军山组安山岩及安 山质火山碎屑岩。该矿床的成矿期可划分为矿浆期和热液期,隐爆作用伴随成矿全过程。矿浆成矿期形成了浮渣 状、斑点状、致密块状、贯入角砾岩状和阴影状等矿石,热液成矿期形成了对称条带状、复角砾状及网脉状等矿石。 矿石的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线均属向右倾的轻稀土元素富集型,微量元素表现出特征的 Nb、Ta 亏损和 大离子亲石元素富集。矿石的稀土元素和微量元素总体特征与安山岩一致。矿石和安山岩的 Pb 同位素数据在 Pb 同位素比值图上共线。安山质火山岩中普遍含有数量不等的磁铁矿。这些特征都表明了矿石与安山岩的亲和性。 矿石的氧同位素组成与典型的岩浆型矿床相一致。该矿床属以安山质岩浆为母岩浆的岩浆矿床(主要)和热液矿床 (次要)的复合型矿床。

关键词 地质学 地球化学 矿床地质特征 岩浆矿床 矿床成因 ;查岗诺尔铁矿 ;西天山 新疆 中图分类号 : P618.31 文献标志码 :A

Geological characteristics and genesis of Chagannur iron deposit in Western Tianshan, Xinjiang

WANG BangYao^{1,2}, HU XiuJun³, WANG JiangTao³, SHAO QingHong³, LING JinLan¹, GUO NaXin¹, ZHAO YanFeng¹, XIA ZhaoDe¹ and JIANG ChangYi^{1,2}

(1 College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
 3 No. 3 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Korla 841000, Xinjiang, China)

Abstract

The Chagannur iron ore district is located in the Boluohonu Mountain situated in northeast Ili Block in western Tianshan, belonging to the active continental margin on the northern side of the Middle Tianshan Plate. The iron deposit lies on the northwest fringe of the volcanic crater, and the attitude of the ore body is restricted by the volcanic dome structure. Wall rocks, mainly consisting of andesite and andesitic volcaniclastic rock, belong to Dahalajunshan Formation. The formation of the ore deposit can be divided into magmatic ore-forming period and hydrothermal metallogenic period, with the former being dominant. Cryptoexplosion occurred during

收稿日期 2010-09-25;改回日期 2011-03-14。许德焕编辑。

^{*} 本文得到中央高校基本科研业务费专项资金(编号 :CHD2010JC089),长安大学基础研究支持计划专项基金和中国地质调查局项目"西天山阿吾拉勒成矿带铁矿成矿条件、成矿规律与勘查示范研究(编号:资(2010)矿评01-03-26)"的联合资助

第一作者简介 汪帮耀,男,1984年生,博士研究生,地球化学专业。Email:banyeo@163.com

^{**}通讯作者 姜常义,男,1951年生,教授,博士生导师,岩石学专业。Email:jiangchangyi001@163.com

the whole metallogenic period. Some kinds of ores were formed during the magmatic ore-forming period, such as scum ore, spotted ore, massive ore, injection and breccia ore and shadow ore. Lots of ores were formed in the hydrothermal metallogenic period, such as symmetrical banding ore, multi-breccia ore and network ore. The REE distribution patterns of the samples are similar to each other, showing obvious enrichment of light REE (LREE) and large ion lithophile elements (LILE) and evident depletion of Nb and Ta in the primitive mantle normalized spider diagrams. Ores and andesite have similar REE fractionation patterns and trace element fractionation patterns. Pb isotopic ratios of ores and andesite show linear correlation in the Pb isotopic ratio graph, and there are varying amounts of magnetite in andesitic volcanic rocks. These characteristics suggest affinity between ores and volcanic rocks. Oxygen isotopic data range of ores is consistent with the variation range of typical magmatic deposits. Hence, this iron deposit is mainly of polygenetic magmatic type and subordinately of hydrothermal type in genesis, with the andesitic magma as the primary magma

Key words: geology, geochemistry, characteristics of iron deposit, magmatic deposit, genesis of ore deposit, Chagannur iron deposit, Western Tianshan, Xinjiang

西天山地区具有丰富的金、铁、铜、铅、锌及重晶 石、高岭土等多种金属和非金属矿产。在已发现的 各类矿种中,以铁矿最为重要,包括预须开普台、查 岗诺尔、智博、敦德和备战铁矿。这些铁矿床大多位 于博罗科努山系,构成了西天山乃至全疆最重要的 铁矿带。

20世纪70年代,新疆地质局第三地质大队对查 岗诺尔铁矿进行了初步勘查。2004年该队重新启动 了查岗诺尔铁矿的勘查工作。可将前人对该矿床形 成机制及成因类型的认识归结为3种观点:砂卡岩 型矿床(田敬全等,2009);火山气液充填交代型铁矿 床[•];与伊犁石炭纪-二叠纪裂谷有关的火山喷气沉 积改造型铜铁矿床(王庆明等,2001;赵仁夫等, 2006)。尽管前人对该矿床的地质特征有过一定程 度的研究,但尚缺乏详细的矿相学、矿床地球化学以 及同位素地球化学等相关方面的研究。本文以系统 且详细的矿床地质特征和矿相学研究为基础,结合 矿床地球化学和同位素地球化学等方面的研究,深 入探讨了该矿床的成矿物质来源及成因类型。

1 区域地质背景

查岗诺尔铁矿区位于伊犁地块东北缘博罗科努山系的主脊线上,属中天山北缘活动陆缘带(Gao et al., 1998)图 1a)。

伊犁地块夹于天山主干断裂(中天山北缘断裂) 和南部尼古拉耶夫-那拉提北坡断裂之间,呈楔形向

东尖灭(高俊等,2009;朱永峰等,2005;Qian et al., 2009 Gao et al. 1998)。伊犁地块被认为是古生代 洋盆中具有前寒武纪结晶基底的古老地块(陈义兵 等 ,1999 ;李继磊等 ,2009) ,在基底之上发育有巨厚 的石炭纪火山岩(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1993)。多数学者认为这些石炭纪火山岩具有典型 的大陆弧火山岩的地球化学特征 :这些火山岩为基 性-中性-酸性连续岩系 ,以中-基性火山岩为主 ,多为 钙碱性系列 稀土元素含量较高 轻稀土元素较重稀 土元素富集,亏损高场强元素Nb、Ta、Zr等,富集大 离子亲石元素 Th、Rb 等(龙灵利等,2008;王博等, 2006 朱永峰等,2005)。吐拉苏盆地火山岩(安芳 等 2008),阿吾拉勒一带的石炭纪火山岩(姜常义 等 ,1996 ;),新源地区石炭纪火山岩(郭璇等 ,2006), 伊犁地块北部石炭纪火山岩(王博等 ,2006)和伊犁 地块南北缘石炭纪火山岩(龙灵利等,2008)等,都表 现出活动大陆边缘弧的特征。众多的研究成果表 明,以巴音沟蛇绿岩套为代表的北天山石炭纪古洋 盆在早石炭世向南侧消减 ,形成了依连哈比尔尕和 博罗科努山一带的下石炭统火山岩(龙灵利等, 等 2006 汪博等 2006)。

2 矿区地质特征

查岗诺尔铁矿床及其东侧的智博铁矿床受同一 个面积为 314 km² 的破火山口的控制 遥感影像图清

新疆地质矿产局第三地质大队. 1980. 查岗诺尔详查地质报告. 内部资料.



图 1 四天山入地构造喻图(a)、复网宿小师区地质图^(b)及宜风宿小师区头测剖面图(c) Fig. 1 Tectonic sketch map of the western Tianshan orogenic belt (a), geological sketch map of Chagannur ore district (b) and measured geological section of the Chagannur ore district (c)

晰显示出破火山口至少经历了4次喷溢-塌陷过程 (图2)。该地区冰川纵横,坡积物和植被非常发育, 加之地势险峻,通行极为不便。

查岗诺尔矿区位于该破火山口的西北缘(图 2)。 区内岩浆活动强烈,尤其是石炭系大哈拉军山组上 部层位的火山岩、次火山岩和上石炭统伊什基里克 组下部层位的火山岩非常发育。在工程揭露部位、 零星分布的露头和钻孔岩芯中见到的破火山口的证 据包括:① 广泛分布的火山集块岩;② 次火山岩;③ 火山热液反复活动所形成的隐爆角砾岩;④ 高温火 山热液交代火山凝灰岩所形成的石榴子石、钾长石 等高温蚀变矿物。

矿区内广泛发育环状断裂,断裂呈 NNE-NE-近 EW 向延伸,并挟持主矿体呈 NE 向弧形分布(图 1b),这亦佐证了矿区内存在破火山口[●]。由于篇幅 所限,关于破火山口的详细特征本文不再赘述。

2.1 矿区地质

查岗诺尔铁矿区内出露的地层主要为石炭系火 山碎屑岩夹中-基性和酸性熔岩及少量碳酸盐岩(大 理岩透镜体)。下石炭统大哈拉军山组底部以晶屑 凝灰岩夹基至中性熔岩为主,中部以中性火山碎屑 岩夹中性熔岩、次火山岩以及少量碳酸盐岩(大理岩 透镜体)为主,上部则以流纹岩、次火山岩和酸性火 山碎屑岩为主(图1c)。该组中-上部的火山碎屑岩 和火山熔岩即为铁矿的赋矿层位。火山碎屑岩中火 山碎屑粒度变化范围较大,从细粒到集块级均有分 布^①。火山熔岩的岩石类型主要为玄武岩、粗面玄武 岩、玄武质粗面安山岩、粗面安山岩、粗面岩及流纹



图 2 西天山阿吾拉勒成矿带典型铁矿床遥感影像图 Fig. 2 Remote sensing image of typical iron deposits along the Awulale metallogenic belt in Western Tianshan

岩,安山质岩石的数量明显多于其他类型岩石(汪帮 耀等,2011)。笔者测得矿区流纹岩中锆石的 U-Pb 谐和年龄为(321.0±2.3) Ma,证明含矿地层形成于 早石炭世晚期,属大哈拉军山组上部层位(汪帮耀 等,2011)。在研究区的北部和东部,出露有上石炭 统伊什基里克组(图 1b),主要由下部安山质晶屑凝 灰岩和上部安山质凝灰角砾岩、含角砾晶屑岩屑凝 灰岩、火山角砾岩和火山集块岩组成,该组内虽见有 矿化,但尚未构成工业矿体。

该矿区内的构造整体上受破火山口的制约,发育 2 组断裂(图 1b):① 呈 NW 向至近 EW 向延伸的断 裂,如 F2、F3、F9,倾角为 20~40°;② 绕火山口呈弧形 展布的断裂,如 F4、F8、F10,倾角为 40~75°,该组断裂 控制了 Fe I 矿体的分布。

矿区内围岩蚀变广泛发育,尤以 Fe I 矿体围岩 蚀变最强。该蚀变带被 F8 断裂及 F10 断裂所限制, 呈 NE 向展布,长 1 800 余 m,宽 500~600 m(图 1b),自东而西依次为石榴子石岩带、阳起石岩-磁铁 矿带和绿帘石-阳起石岩带。

石榴子石岩带 主要分布在 F10 断裂以西(图 1b),连续出露长约 1 700 m,宽约 100~250 m。蚀变 岩石类型主要为石榴子石岩,有少量磁铁矿化石榴子石岩、阳起石-石榴子石岩、透辉石-石榴子石岩等。

阳起石岩-磁铁矿带 位于矿化蚀变带中心部 位,东西宽 60~130 余 m,南北断续延长 2 000 m。 由于铁矿体占据了该带的绝大部分面积,故蚀变岩 石及凝灰岩呈残块零星分布。蚀变岩石包括磁铁矿 化阳起石岩、磁铁矿化绿帘石-阳起石岩和磁铁矿化 石榴子石岩等。

绿帘石-阳起石岩带 呈不规则条带状位于主 矿体的西侧,宽 20~80 余 m,其形态、规模和分布受 F8 断裂及一系列近 EW 向断裂的控制,因而往往出 露不连续。蚀变岩石有阳起石岩、绿帘石-阳起石 岩、石榴子石岩、磁铁矿化阳起石岩等。

从空间及产状来看,早期蚀变石榴子石岩带在上,晚期蚀变绿帘石-阳起石岩带在下。需要强调的 是,在 Fe I 矿体和 Fe II 矿体的底板内各有一个规模 较小的大理岩透镜体,大理岩中既无铁矿化亦无石 榴子石砂卡岩化。

2.2 矿体特征

查岗诺尔铁矿床赋存于下石炭统大哈拉军山组 第三亚组第一段灰绿色安山岩和安山质火山碎屑岩 中(汪帮耀等,2011)。以查汗乌苏河为界,该矿床分 为东(FeI)、西(FeII)2个主矿区,两者相距约1.5 km(图1b),工业矿体有5个,以下仅简要介绍2个 主矿体。

Fe I 矿体 占据了矿区铁矿资源量的绝大部分,平均品位为 36.75%。矿体及石榴子石-绿帘石-阳起石蚀变带呈向北西凸出的环状分布。该矿体被 F8 和 F10 断裂所挟持,在平面上为 NE 走向,其中段 微向南东凸出,向南北两端逐渐尖灭,北端被第四系 覆盖,南段明显凹向北西(图1b)。该矿体倾向南东, 倾角为15~36°,底板为磁铁矿化阳起石岩、石榴子 石岩、大理岩,顶板以石榴子石岩为主,以石榴子石 化安山质凝灰岩和阳起石化凝灰岩为辅。矿体平均 厚度为70.06 m。

Fell 矿体 在地表呈带状或椭圆状,平均品位为 32.66%。矿体顶板为石榴子石岩,底板为绿帘石 化凝灰质安山岩和阳起石岩。矿体倾向北西,倾角 30~43°,平均厚度为 45 m。

2.3 含矿岩石及矿石特征

2.3.1 含矿岩石特征

如前所述,矿体的赋矿围岩为大哈拉军山组中-上部的安山岩及安山质火山碎屑岩,两者的共同特 点是都有不同程度的磁铁矿化,现描述如下: (磁铁矿化)安山岩 具斑状结构、交织结构、玻 基交织结构。斑晶由斜长石(5%~10%)、单斜辉石 (2%~5%)和角闪石(5%~10%)组成(图 3a,b,d); 基质由斜长石(30%~50%)、单斜辉石(5%~ 10%)、角闪石(5%~10%)和磁铁矿(30%~40%) 组成。斑晶斜长石呈短柱状,基质斜长石呈微晶短 柱状定向-半定向排列。斑晶单斜辉石和斑晶角闪 石分别呈粒状和柱状,基质单斜辉石和角闪石则呈 半自形-他形充填于基质斜长石之间,呈交织结构 (图 3c)。矿体附近的岩石中磁铁矿含量较高,呈他 形充填于硅酸盐矿物斑晶之间或斜长石基质之间。 岩石蚀变强烈,斜长石有不同程度的叶蜡石化和绢 云母化,辉石和角闪石有不同程度的阳起石化、绿帘 石和绿泥石化。

(含角砾)安山质岩屑晶屑凝灰岩 灰绿色,凝



图 3 查岗诺尔矿区内安山岩的显微照片

a. 磁铁矿(Mt)充填于斜长石斑晶(Pl)和单斜辉石斑晶(Cpx)之间,单偏光; b. 磁铁矿充填于角闪石斑晶(Hb)和斜长石基质之间, 正交偏光; c. 磁铁矿充填于角闪石基质和斜长石基质之间,正交偏光; d. 磁铁矿充填于斜长石斑晶之间,单偏光

Fig. 3 Microphotographs of andesite from the Chagannur ore district

a. Magnetite (Mt) filled between plagioclase (Pl) and clinopyroxene (Cpx) phenocrysts, plainlight; b. Magnetite filled between hornblende (Hb) phenocrysts and plagioclase matrix, crossed nicols; c. Magnetite filled between hornblende and plagioclase matrix, crossed nicols; d. Magnetite filled between plagioclase phenocrysts, plainlight 灰质结构,层状构造。岩石中岩屑含量为20%~ 30%,主要为安山岩岩屑(25%~28%),有少量二长 岩岩屑(2%~5%)。晶屑含量为30%~40%,主要 为斜长石晶屑(30%~35%),钾长石(3%~5%)和 石英(2%~4%)晶屑少量;其余为细火山灰(30%~ 50%)。部分岩石含有少量火山角砾,成分主要为安 山岩,其结构保留完好,并且有大量磁铁矿分布于基 质中。岩石中的安山岩岩屑,为斑状结构,基质具交 织结构或玻基交织结构。该类岩石继承了上述安山 岩的特征,两者在空间上紧密共生。

2.3.2 矿石特征

该矿区内矿石的 w(TFe)最高为 64.2%,最低 为 20.18%,平均为 35.61%。w(S)(1.69%)以及 $w(SiO_2)(29.89\%)$ 较高,w(P)(0.03%)和 w(Ti)(0.08%)较低。矿石矿物主要为磁铁矿,有少量黄 铜矿、黄铁矿、假象赤铁矿和赤铁矿;脉石矿物主要 为石榴子石,次为阳起石、绿帘石和绿泥石等。矿石 的构造类型较多且分布于矿体的不同部位,现分述 如下:

① 浮渣状、豹纹状构造 该类矿石空间上位于 主矿体的顶部,含有较多的脉石矿物碎屑包体(含量 为60%~70%)而呈豹纹状、浮渣状,碎屑包体呈次 棱角状或次浑圆状(图4a),粒径为0.5~2 mm,成分 以石榴子石为主,次为透辉石和阳起石等,以全自形 (重结晶)和自碎微粒状(与隐爆作用有关)集合体为 主。碎屑包体局部有蜜黄色石榴子石反应边(图 4a)。在显微镜下,磁铁矿多呈淡黄褐色板条状(图 4b),黄铁矿呈团块状、星点状交代熔蚀磁铁矿。

② 斑点状、斑杂状构造 该类矿石多位于浮渣 状矿石的下方,其特征与浮渣状矿石相似,不同之处

 c
 1 mm

 c
 1 mm

 d
 1 mm

 <t

Fig. 4 Ores of ore magma period and hydrothermal period and their microphotographs, Chagannur iron deposit (1) a. Scum ore or leopard line ore; b. Lath-shaped magnetite (Mt) (reflected polarized light); c. Spotted or taxitic ore;

d. Brown magnetite surrounded by yellowish magnetite, magnetite reacted by pyrite (Py) (reflected polarized light)



在于脉石矿物包体含量减少(40%~55%),且多呈 次浑圆状,成分仍以石榴子石为主,伴有少量透辉石 和阳起石。碎屑包体局部可见蜜黄色石榴子石反应 边(图 4c)。显微镜下常见淡黄褐色磁铁矿中包含棕 色磁铁矿包体(图 4d),磁铁矿中偶见钛铁矿出溶叶 片。

③ 贯入角砾岩状构造 该类矿石多位于主矿 体的上部,呈脉状角砾岩产出,个别脉厚仅数厘米。 角砾呈棱角状-次棱角状,粒径为3 mm~5 cm,成分 以火山碎屑岩为主,磁铁矿次之(图 5a)。显微镜下 常见棕色磁铁矿包裹于淡黄褐色磁铁矿中,磁铁矿 中偶见钛铁矿出溶叶片(图 5b)。脉石矿物以石榴子 石为主,透辉石、阳起石次之,绿泥石、绿帘石、石英 和碳酸盐少量。该类矿石是由隐爆作用产生的大小 不同的围岩(偶尔有矿浆或矿石)角砾、碎屑、粉尘以 及铁质矿浆沿裂隙贯入并被磁铁矿胶结而形成。

④ 阴影状(雾迷状)构造 该类矿石主要见于 主矿体中-下部的富矿石(或块状矿石)中。显微镜 下常见板条状磁铁矿(图 5d)和微细粒棕色磁铁矿包 体,偶见呈放射状趋势。在该类矿石中,星点状、板 条状硫化物(主要是黄铁矿)和脉石矿物不均一聚集 分布呈阴影状、雾迷状(图 5c),反映出矿浆比较粘稠 而缺乏流动,并且,原包体在粘稠的矿浆中已大部分 被同化混染。

⑤ 致密块状构造 该类矿石位于主矿体的下部, 以磁铁矿含量较多为特征。在显微镜下,偶见磁铁矿 中有钛铁矿出溶叶片。黄铁矿呈乳滴状包裹于磁铁 矿中或者交代磁铁矿,黄铜矿呈乳滴状包裹于磁铁矿 中。脉石矿物含量较少,且以蜜黄色石榴子石为主, 有少量绿帘石和阳起石等。



图 5 查岗诺尔铁矿床矿浆期和热液期矿石及显微照片(二)

a. 贯入角砾岩状矿石; b. 磁铁矿中的钛铁矿出溶叶片(反射光); c. 阴影状、雾迷状矿石; d. 磁铁矿呈板条状分布, 板条状黄铁矿交代磁铁矿(反射光); Gr一石榴子石; Mt一磁铁矿; Ⅱ一钛铁矿; Pv一黄铁矿

Fig. 5 Ores of ore magma period and hydrothermal period and their microphotographs, Chagannur iron deposit (2)

- a. Injection and breccia ore; b. Exsolution lamellae of ilmenite (II) in magnetite (reflected polarized light); c. Shadow,
- fog and striped ore; d. Lath-shaped magnetite and lath-shaped pyrite reacted with iron (reflected polarized light);

Gr—Garnet; Mt-Magnetite; Py—Pyrite; Il—Ilmenite

⑥ 晶洞构造 在致密块状磁铁矿中常见。晶洞分布在微细粒磁铁矿(矿浆成矿期)中,直径为数 毫米至1 cm 左右。在热液阶段,粗粒磁铁矿、阳起 石、碳酸盐、黄铁矿和黄铜矿充填晶洞的空隙。这表 明在矿浆成矿期的演化晚期有热液作用叠加。

⑦ 对称条带状构造 该类矿石位于主矿体的 下部。磁铁矿粒度较粗(粒径为1~2 mm),黄铁矿 和黄铜矿呈星点状不均一分布。宏观上可见特征的 按早晚顺序分布的对称条带(红褐色石榴子石)(图 6a)。显微镜下可见脉壁接触处的磁铁矿条带并不 平整,显示出热液交代围岩的现象(图 6b)。

⑧ 复角砾状构造 该类矿石位于主矿体的下部,以出现红褐色或红棕色石榴子石为特征。显微镜下可见到明显不同的 2 类磁铁矿:矿浆期残留磁铁矿(粒度为 0.05~0.5 mm);热液期叠加改造型磁

铁矿(粒度为1 cm 左右)(图 6d)。复角砾状构造是 贯入脉状角砾岩型矿石(矿浆期)经过热液期隐爆作 用后形成了张性角砾,这些角砾又被热液期红褐色 石榴子石和粗粒磁铁矿及其伴生矿物胶结而形成 (图 6c)。该类矿石反映了后期热液对矿浆期磁铁矿 的叠加改造,热液期磁铁矿的含量占磁铁矿总量的 20%左右。

⑨ 网脉状构造 该类矿石位于主矿体的底部。 磁铁矿、硫化物(少量黄铁矿和微量黄铜矿)呈浸染 状、细脉状分布,具明显的热液作用特征。脉石矿物 以石榴子石为主,阳起石,绿帘石少量,石榴子石具 热液期特征的红褐色。

综上所述,在成矿过程中,铁质矿浆在隐爆后由 于逸失大量的挥发分和热量而急剧过饱合,形成了 大量隐爆角砾和特征的微细粒他形粒状磁铁矿集合

图 6 查岗诺尔铁矿床矿浆期和热液期矿石及显微照片(三) a. 对称条带状矿石; b. 磁铁矿被红褐色石榴子石(热液期)交代(反射光); c. 网脉状、复角砾状矿石; d. 热液期磁铁矿被细脉状

黄铁矿交代(反射光); Gr一石榴子石; Ep一绿帘石; Λct一阳起石; Mt一磁铁矿; Py一黄铁矿

Fig. 6 Ores of ore magma period and hydrothermal period and their microphotographs, Chagannur iron deposit (3) a. Symmetrical banding ore: b. Red brown garnet (hydrothermal period) reacted with magnetite (reflected polarized light); c. Stockwork vein-like ore and multi-breccia ore: d. Pyrite as veinlet reacted with magnetite derived from hydrothermal metasomatism (reflected polarized light); Gr—Garnet: Ep—Epidote: Act—Actinolite: Mt—Magnetite: Py—Pyrite



体,由此形成了浮渣状(豹纹状)和斑点状(斑杂状) 矿石。由于隐爆产生了负压空间,导致部分铁质矿 浆在铁矿体上方形成贯入角砾岩状矿石。在主矿体 的中-下部,大量隐爆角砾和碎屑、粉尘成为铁质矿 浆的包体,包体普遍具有石榴子石反应边,同化强烈 处形成了阴影状、雾迷状构造,具有岩浆岩同化混染 现象的特征,这是矿浆成矿的有力证据。铁质矿浆 的密度相对较大,因而,在主矿体的下部层位,铁质 矿浆聚集形成了致密块状矿石。另一方面,后期热 液成矿作用叠加在主矿体的底部,形成了具特征红 褐色石榴子石的对称条带状和网脉状等矿石,并且, 该阶段亦伴随有隐爆作用,形成了复角砾状矿石。 总而言之,矿石构造类型可分为矿浆期和热液期2 类,在数量上前者占绝大多数。

2.4 围岩蚀变特征

查岗诺尔矿区蚀变围岩种类繁多,多个世代的 蚀变矿物相互组合,蚀变以多期、多阶段和后期蚀变 叠加为特征。

 透辉石-石榴子石化 该蚀变属于矿浆成矿期 早期蚀变,在矿体的各个部分都有分布。由于伴随矿 浆隐爆作用,故而,透辉石和石榴子石较为破碎,两者 基本为共生关系,两者共同破碎、共同重结晶⁰。

② 阳起石-绿泥石化 可分为矿浆期和热液期。 矿浆期的阳起石-绿泥石化伴随矿浆隐爆作用,主要 交代碎粒透辉石和石榴子石。热液期的该蚀变叠加 于早期蚀变之上,形成了如对称条带状以及网脉状 等热液期矿石(图 6c)。

③ 石榴子石化 可分为矿浆期和热液期 2 类, 两者均属于钙铁榴石⁶。矿浆期的石榴子石形成于 矿浆期末的热液阶段,以蜜黄色为特征,主要见于碎 屑包体(早期碎粒透辉石、石榴子石和阳起石)的反 应边(图 4c),该类石榴子石在主矿体的各部分均有 分布。热液期的石榴子石以红褐色或红棕色为特 征,主要分布于主矿体的下部和上部的贯入角砾岩 状矿石中,围绕隐爆角砾(围岩和矿浆期矿石)呈环 带状分布,或与其他热液期矿物一起呈对称条带状 生长(图 6a),少数以角砾或粗粒集合体产出,局部可 见红褐色石榴子石交代或包裹蜜黄色石榴子石。

④ 热液期绿帘石、石英和碳酸盐化 热液期蚀 变矿物除了上述的石榴子石、阳起石外,还有绿帘 石、石英、碳酸盐和钾长石(局部且少量),其生成顺 序为,红褐色石榴子石-阳起石-绿帘石-石英-碳酸盐 (图 6a)。 蚀变作用叠加在矿化之上形成了对称条带 状以及网脉状矿石(图 6a、6c)。

2.5 成矿期和成矿阶段

据矿石组构、成因、矿物共生关系和产出特征的 研究 ,查岗诺尔矿床可划分出 2 个主要成矿期:

矿浆成矿期 该成矿期可分为2个阶段:

 ① 矿浆成矿阶段 该阶段形成了矿床的主体, 上部为贯入角砾岩状矿石,中-下部为雾迷状矿石,
 下部为致密块状矿石。磁铁矿颗粒细微,矿石富含 杂质、碎屑包体,同化混染十分普遍。其矿物共生组 合为石榴子石+磁铁矿。

② 热液矿化阶段、该阶段相当于岩浆期后自 变质阶段,以蜜黄色石榴子石反应边和具晶洞构造 为特征,是富含挥发分和热液流体的铁质矿浆在矿 浆阶段之后出现的热液矿化作用。其矿物共生组合 为磁铁矿+阳起石+绿帘石+碳酸盐(少量)。热液 矿化阶段叠加改造了矿体中-下部的矿石。

热液成矿期 该成矿期与二次隐爆作用紧密相
 伴、以出现粗粒磁铁矿、红棕色或红褐色石榴子石以
 及复角砾状矿石为特征。可分为2个阶段:

① 磁铁矿-石榴子石阶段 以出现复角砾状、对称条带状和网脉状构造为特征,具有高温浅成热液充填成矿的特征。矿物共生组合为磁铁矿+石榴子石+阳起石+绿帘石。

② 石英-碳酸盐阶段 与前一阶段有小的间断。
阳起石呈角砾状残留在碳酸盐中。该阶段分布局限。
其矿物共生组合为方解石 + 石英 + 黄铁矿 + 黄铜矿。

热液成矿期的矿化主要位于主矿体的底部,局 部出现在主矿体的顶部,交代改造矿浆成矿期(包括 热液矿化阶段)的矿石。

总之,查岗诺尔矿床的成矿期包括矿浆成矿期 和热液成矿期,前者占主导作用并形成了主矿体,后 者为从属地位并叠加和改造前者。

3 矿床地球化学

本研究系统采集了各种构造类型的矿石,在对 矿石样品进行详细手标本和偏光、反光显微镜观察 后,挑选较新鲜的样品并将其粉碎成粉末,然后进行 化学分析。稀土元素和微量元素分析在长安大学西 部矿产资源与地质工程教育部重点实验室采用美国 X-7型 ICP-MS 测定,测定结果见表 1。

Table 1 Trace elements and rare earth elements in ores from the Chagannur deposit

| 40/2 | 贯入角砾岩型 | | | | 浮渣状 | | | | | 斑杂状 | | |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 组方 | H-33 | H-30 | H-65 | H-46 | H-35 | H-49 | H-38 | H-56 | H-39 | H-50 | H-40 | H-61 |
| | | | | | rel | (B)/ 10 ⁻⁶ | | | | | | |
| Li | 6.61 | 3.11 | 3.89 | 3.35 | 1.40 | 1.10 | 1.25 | 1.81 | 1.69 | 3.09 | 2.00 | 1.56 |
| Be | 1.12 | 0.46 | 0.48 | 0.56 | 0.28 | 0.23 | 0.24 | 0.34 | 0.46 | 0.62 | 0.46 | 0.34 |
| Sc | 12.28 | 8.22 | 3.03 | 8.41 | 6.70 | 3.26 | 4.52 | 3.91 | 3.41 | 4.46 | 1.82 | 3.48 |
| V | 112.2 | 66.84 | 65.63 | 62.65 | 55.62 | 42.17 | 42.42 | 38.16 | 73.53 | 58.94 | 32.26 | 43.73 |
| Cr | 23.45 | 10.52 | 10.44 | 8.78 | 25.83 | 12.85 | 13.90 | 7.19 | 6.73 | 7.25 | 4.58 | 8.53 |
| Со | 48.56 | 49.08 | 55.46 | 71.85 | 89.27 | 75.18 | 83.55 | 50.34 | 60.77 | 49.49 | 44.49 | 86.56 |
| Ni | 120.6 | 111.1 | 111.0 | 154.8 | 162.3 | 155.4 | 99.90 | 107.8 | 123.5 | 106.5 | 129.0 | 141.3 |
| Cu | 1296 | 426.5 | 230.4 | 1697 | 60.27 | 506.0 | 132.0 | 463.0 | 353.3 | 174.2 | 356.0 | 576.9 |
| Zn | 515.5 | 103.1 | 101.0 | 706.8 | 868.2 | 914.7 | 122.2 | 46.57 | 100.3 | 162.7 | 155.3 | 62.68 |
| Ga | 9.51 | 8.89 | 9.59 | 7.26 | 8.91 | 5.60 | 7.26 | 6.70 | 7.19 | 8.34 | 6.46 | 6.73 |
| Rb | 2.06 | 1.86 | 2.49 | 1.50 | 1.17 | 1.18 | 1.21 | 1.82 | 1.21 | 1.63 | 1.29 | 1.06 |
| Sr | 25.17 | 12.67 | 12.45 | 17.65 | 4.24 | 8.11 | 3.39 | 9.48 | 8.10 | 9.36 | 9.78 | 7.40 |
| Y | 8.71 | 9.27 | 7.34 | 6.38 | 13.09 | 9.02 | 9.39 | 7.71 | 12.13 | 10.59 | 8.85 | 9.08 |
| Zr | 27.45 | 42.19 | 22.30 | 23.82 | 25.16 | 14.12 | 24.31 | 9.36 | 15.49 | 49.78 | 15.84 | 14.67 |
| Nb | 1.37 | 1.96 | 1.09 | 1.26 | 1.40 | 0.84 | 1.37 | 0.88 | 1.37 | 3.09 | 1.12 | 0.95 |
| Cs | 6.93 | 6.46 | 7.35 | 1.62 | 5.20 | 7.84 | 4.07 | 4.76 | 7.50 | 6.27 | 5.54 | 7.26 |
| Ba | 93.01 | 82.72 | 95.18 | 25.59 | 65.09 | 99.50 | 53.59 | 76.22 | 91.27 | 80.50 | 68.92 | 88.75 |
| La | 24.76 | 3.26 | 3.24 | 1.56 | 3.71 | 5.35 | 2.80 | 5.13 | 6.12 | 3.49 | 3.06 | 4.11 |
| Ce | 36.34 | 7.47 | 5.89 | 3.85 | 9.06 | 12.05 | 7.68 | 13.31 | 16.20 | 6.96 | 5.93 | 8.90 |
| Pr | 4.57 | 1.42 | 0.85 | 0.87 | 1.24 | 1.50 | 1.29 | 1.68 | 2.40 | 1.16 | 0.87 | 1.25 |
| Nd | 10.53 | 7.46 | 3.67 | 4.81 | 8.49 | 6.32 | 7.27 | 7.34 | 10.55 | 5.57 | 4.20 | 5.68 |
| Sm | 1.92 | 1.93 | 1.09 | 1.28 | 3.13 | 1.45 | 2.02 | 1.70 | 2.17 | 1.48 | 1.01 | 1.43 |
| Eu | 0.60 | 0.70 | 0.44 | 0.47 | 1.99 | 0.67 | 0.79 | 0.75 | 1.00 | 0.58 | 0.59 | 0.63 |
| Gd | 2.45 | 1.99 | 1.34 | 1.29 | 3.37 | 1.32 | 1.98 | 1.44 | 2.01 | 1.67 | 1.11 | 1.60 |
| Tb | 0.32 | 0.32 | 0.20 | 0.20 | 0.49 | 0.25 | 0.30 | 0.24 | 0.29 | 0.27 | 0.18 | 0.24 |
| Dy | 1.68 | 1.79 | 1.09 | 1.20 | 2.58 | 1.34 | 1.58 | 1.24 | 1.57 | 1.54 | 1.01 | 1.28 |
| Ho | 0.33 | 0.36 | 0.22 | 0.24 | 0.46 | 0.26 | 0.31 | 0.24 | 0.32 | 0.34 | 0.23 | 0.26 |
| Er | 0.97 | 1.07 | 0.66 | 0.71 | 1.27 | 0.75 | 0.85 | 0.68 | 1.00 | 1.08 | 0.72 | 0.76 |
| Tm | 0.13 | 0.15 | 0.09 | 0.10 | 0.17 | 0.10 | 0.11 | 0.09 | 0.13 | 0.16 | 0.10 | 0.10 |
| Yb | 0.85 | 1.02 | 0.59 | 0.67 | 1.04 | 0.63 | 0.75 | 0.57 | 0.84 | 1.11 | 0.67 | 0.64 |
| Lu | 0.14 | 0.17 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.13 | 0.19 | 0.11 | 0.11 |
| Hf | 0.80 | 1.13 | 0.74 | 0.63 | 0.76 | 0.42 | 0.67 | 0.22 | 0.39 | 1.48 | 0.34 | 0.45 |
| Ta | 0.10 | 0.13 | 0.10 | 0.08 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.04 | 0.08 | 0.28 | 0.07 | 0.07 |
| Bi | 2.29 | 1.15 | 0.45 | 3.80 | 2.34 | 1.82 | 1.30 | 0.56 | 1.02 | 0.34 | 1.28 | 0.90 |
| Th | 2.61 | 1.73 | 1.09 | 1.27 | 1.45 | 1.20 | 1.85 | 1.15 | 1.46 | 2.72 | 0.99 | 1.39 |
| U | 1.56 | 2.07 | 1.44 | 1.28 | 5.49 | 4.00 | 2.02 | 5.07 | 8.14 | 1.91 | 3.12 | 2.73 |
| Σ REE | 85.58 | 29.11 | 19.46 | 17.36 | 37.15 | 32.09 | 27.84 | 34.49 | 44.71 | 25.60 | 19.78 | 26.99 |
| δEu* | 0.84 | 1.08 | 1.10 | 1.11 | 1.87 | 1.45 | 1.19 | 1.42 | 1.43 | 1.12 | 1.71 | 1.27 |
| (La/Yb) _N * | 19.62 | 2.16 | 3.69 | 1.58 | 2.41 | 5.72 | 2.53 | 6.09 | 4.94 | 2.11 | 3.09 | 4.31 |
| (Gd/Yb) _N * | 2.32 | 1.58 | 1.83 | 1.56 | 2.62 | 1.69 | 2.13 | 2.05 | 1.94 | 1.21 | 1.34 | 2.00 |
| (La/Sm) _N * | 8.13 | 1.06 | 1.87 | 0.77 | 0.75 | 2.32 | 0.87 | 1.90 | 1.77 | 1.48 | 1.90 | 1.81 |

续表 1

| | | | | | | | | | | Conti | nued table |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|-------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------------|------------|
| 40/2 | 斑杂状 | 阴影状 | | | 致密 | 块状 | | | 热液 | 期(对称)条 | 带状 |
| 组方 | H-51 | H-63 | H-89 | H-59 | H-22 | H-66 | H-41 | H-52 | H-71 | H-74 | H-55 |
| | | | | | u(B | Y 10 ⁻⁶ | | | | | |
| Li | 1.55 | 4.30 | 2.58 | 3.47 | 5.45 | 2.74 | 1.13 | 1.63 | 18.97 | 2.15 | 6.14 |
| Be | 0.32 | 0.87 | 0.35 | 0.87 | 0.80 | 0.98 | 0.35 | 0.42 | 0.62 | 1.06 | 1.19 |
| Sc | 3.77 | 0.73 | 1.86 | 1.44 | 1.09 | 1.27 | 3.74 | 2.81 | 6.85 | 5.21 | 11.23 |
| V | 46.76 | 49.02 | 57.57 | 36.32 | 60.48 | 39.41 | 27.48 | 29.48 | 52.61 | 46.32 | 89.18 |
| Cr | 8.67 | 9.64 | 13.28 | 5.95 | 9.33 | 3.24 | 8.00 | 10.36 | 31.11 | 16.57 | 5.02 |
| Co | 89.10 | 46.59 | 15.82 | 53.33 | 173.0 | 34.29 | 79.28 | 183.8 | 93.07 | 209.1 | 41.38 |
| Ni | 161.7 | 108.8 | 17.48 | 40.00 | 141.2 | 85.18 | 78.89 | 76.67 | 144.7 | 193.2 | 107.5 |
| Cu | 831.0 | 1113 | 81.57 | 415.6 | 941.7 | 214.8 | 969.2 | 2424 | 116.4 | 354.7 | 35.66 |
| Zn | 64.88 | 209.0 | 55.26 | 192.4 | 220.5 | 195.3 | 266.2 | 623.4 | 115.7 | 105.8 | 91.19 |
| Ga | 6.70 | 9.17 | 8.51 | 8.55 | 11.40 | 6.52 | 3.91 | 6.30 | 11.19 | 8.40 | 10.52 |
| Rb | 1.15 | 1.71 | 4.15 | 1.72 | 1.82 | 1.68 | 1.03 | 0.99 | 8.84 | 1.86 | 4.63 |
| Sr | 7.75 | 14.91 | 73.61 | 13.06 | 16.49 | 6.99 | 10.07 | 7.51 🔬 | 33.10 | 63.33 | 14.54 |
| Υ | 8.56 | 0.86 | 6.50 | 2.37 | 1.18 | 2.52 | 1.89 | 2.54 | 5.26 | 4.05 | 7.57 |
| Zr | 12.85 | 4.08 | 10.81 | 8.41 | 9.29 | 7.58 | 5.08 | 5.58 | 100.9 | 25.53 | 30.02 |
| Nb | 0.88 | 0.19 | 0.55 | 0.42 | 0.21 | 0.50 | 0.23 | 0.25 | 2.90 | 0.41 | 1.34 |
| Cs | 8.78 | 6.72 | 0.22 | 0.39 | 7.41 | 1.73 | 0.49 | 0.72 | 8.08 | 7.75 | 6.88 |
| Ba | 105.9 | 83.44 | 11.22 | 9.58 | 106.2 | 25.21 | 8.05 | 11.23 | 123.7 | 95.24 | 114.5 |
| La | 3.99 | 2.01 | 9.94 | 0.59 | 2.24 | 0.92 | 0.63 | 0.48 | 3.49 | 16.28 | 2.76 |
| Ce | 7.82 | 2.58 | 18.24 | 1.44 | 3.11 | 1.56 | 1.45 | 0.99 | 5.12 | 24.48 | 4.98 |
| Pr | 1.28 | 0.28 | 1.98 | 0.24 | 0.38 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.62 | 3.10 | 0.69 |
| Nd | 5.22 | 0.53 | 7.42 | 1.10 | 0.66 | 1.05 | 1.53 | 1.05 | 1.52 | 9.58 | 3.63 |
| Sm | 1.45 | 0.22 | 1.26 | 0.27 | 0.21 | 0.40 | 0.45 | 0.31 | 0.41 | 1.63 | 1.28 |
| Eu | 0.64 | 0.08 | 0.35 | 0.10 | 0.09 | 0.16 | 0.18 | 0.12 | 0.12 | 0.46 | 0.49 |
| Gd | 1.59 | 0.26 | 1.42 | 0.40 | 0.28 | 0.55 | 0.51 | 0.38 | 0.49 | 1.24 | 1.46 |
| Th | 0.23 | 0.05 | 0.17 | 0.05 | 0.05 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.11 | 0.20 | 0.24 |
| Dv | 1.22 | 0.17 | 0.93 | 0.31 | 0.17 | 0.42 | 0.33 | 0.34 | 0.65 | 0.81 | 1.38 |
| Ho | 0.24 | 0.03 | 0.21 | 0.07 | 0.04 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.17 | 0.14 | 0.29 |
| Fr | 0.69 | 0.10 | 0.71 | 0.23 | 0.13 | 0.23 | 0.15 | 0.21 | 0.67 | 0.38 | 0.85 |
| Tm | 0.09 | 0.02 | 0.41 | 0 0 03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.12 | 0.04 | 0.13 |
| Yh | 0.58 | 0.02 | 0.73 | 0.03 | 0.11 | 0.00 | 0.12 | 0.03 | 0.92 | 0.27 | 0.82 |
| Lu | 0.10 | 0.03 | 0.11 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.17 | 0.06 | 0.13 |
| Цf | 0.42 | 0.16 | 0.30 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 2.81 | 0.00 | 0.15 |
| To | 0.42 | 0.10 | 0.04 | 0.23 | 0.40 | 0.15 | 0.10 | 0.10 | 0.34 | 0.06 | 0.09 |
| D: | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 2 12 | 1.46 | 2.68 | 2.08 | 4 80 | 1.77 | 0.09 |
| DI TL | 0.65 | 0.01 | 0.42 | 0.69 | 2.15 | 0.47 | 0.00 | 2.00 | 4.60 | 1.77 | 1.22 |
| In | 1.55 | 0.40 | 0.62 | 0.08 | 0.70 | 0.47 | 0.82 | 0.75 | 3.30 | 5.10 2.15 | 1.52 |
| U | 2.20 | 0.15 | 1.33 | 0.54 | 0.20 | 0.19 | 0.30 | 0.30 | 2.40 | 2.15 | 1.20 |
| ∠REE | 25.15 | 6.43 | 43.56 | 5.11 | 7.51 | 5.94 | 5.74 | 4.46 | 14.58 | 58.65 | 19.12 |
| oEu _N | 1.28 | 1.09 | 0.80 | 0.94 | 1.12 | 1.02 | 1.12 | 1.08 | 0.82 | 0.94 | 1.09 |
| (La/Yb) _N * | 4.61 | 15.02 | 9.22 | 1.77 | 13.98 | 3.10 | 3.49 | 1.77 | 2.55 | 41.26 | 2.27 |
| (Gd/Yb) _N | 2.20 | 2.30 | 1.57 | 1.42 | 2.05 | 2.19 | 3.42 | 1.69 | 0.43 | 3.76 | 1.44 |
| (La/Sm) _N * | 1.73 | 5.79 | 4.98 | 1.37 | 6.87 | 1.44 | 0.87 | 0.97 | 5.31 | 6.28 | 1.35 |

* 单位为 1。

3.1 稀土元素和微量元素地球化学

对比查岗诺尔铁矿床矿石和硅酸盐岩石之间的 稀土元素特征,发现矿石的∑REE 值总体上小于岩 石的∑REE 值(表1)。而矿石的轻稀土元素和重稀 土元素之间、轻稀土元素内部以及重稀土元素内部的分馏程度与矿区内安山岩相同或相似。从球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 7a~d)来看,矿石的配分曲线分布规律与安山岩相似,均为



图 7 查岗诺尔矿床内矿石的稀土元素和微量元素配分曲线图(标准化值据 Sun et al., 1995) Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns and mantle-normalized multi-elements patterns for Ores from the Chagannur deposit (normalized values from Sun et al., 1995)

396

向右倾斜的轻稀土元素富集型。安山岩、玄武质粗 面安山岩和粗面安山岩均具弱负铕异常,可能是岩 浆源区氧逸度较低且存在斜长石分离结晶作用所 致。矿石中除了少数致密块状、贯入角砾岩状和对 称条带状矿石具弱负铕异常外,其余矿石均具弱正 铕异常,这可能是由于成矿环境由早期(矿浆成矿 期)的氧化环境逐渐变为晚期(热液成矿期)的相对 还原环境。

微量元素方面,与安山质岩石相比,该矿床的矿 石普遍相对亏损 Rb、Sr 而富集 U,并且,局部矿石的 微量元素丰度总体上低于岩石。在微量元素原始地 幔标准化图(图7e~h)上,安山质岩石的Cs-Ta变化 与矿石的不一致,可能是由于与安山质岩浆分离之 后,矿浆或富含铁的岩浆受到了热液蚀变作用的叠 加而导致矿石中的大离子亲石元素受到热扰动所 致。然而,矿石的微量元素配分曲线的特征总体上 与硅酸盐岩石的配分曲线特征基本一致(图7e~h)。 矿石表现出特征的 Nb和 Ta的亏损,这与安山岩的 微量元素特征相一致。

3.2 同位素地球化学

对系统采集的各种构造类型的矿石样品进行了 详细的手标本和偏光、反光显微镜观察后,选择具代 表性的样品在双目镜下挑选出磁铁矿、黄铁矿和黄 铜矿,洗净后研磨至 200 目。在中国地质科学院国 土资源部实验室,使用 MAT251EM 质谱仪测定了 氧同位素和硫同位素。测定结果见表 2。在中国科

学院广州地球化学研究所,使用 Micromass Isoprobe 型多接收器等离子体质谱仪测定了铅同位。测定结果见表 3。

查岗诺尔矿床内磁铁矿的 δ¹⁸O 值为 1.6‰~ 3.3‰,金属硫化物的 δ³⁴S 值为 3.9‰~15.9‰(表 2)。其氧同位素的变化范围较小,表明成矿物质为 同一来源。将该矿床矿石的氧同位素数据与其他矿 床对比,其氧同位素组成与典型的岩浆矿床一致(图 8 和表 2),由此推测其铁元素来自岩浆。

查岗诺尔矿床内的磁铁矿石除了一件样品外, 其余样品的 Pb 同位素数据的变化范围较小(表 3), ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=18.053~18.336,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.466 ~15.553,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=37.716~37.968。由表 3 可 见 磁铁矿的 Pb 同位素组成与安山岩相似。在 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb和²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 图 (图 9)上,磁铁矿与安山岩形成了很好的线性排列, 表明其具有同源关系。

◆表 2、查岗诺尔矿床内矿石的 O、S 同位素数据

Fig. 2 Isotopic compositions of O and S for ores from

| the | Chagannur | deposit |
|-----|-----------|---------|
|-----|-----------|---------|

| 样号 | 样品类型 | δ ¹⁸ O / ‰ | 样号 | 样品类型 | $\delta^{34}S\!/\%$ |
|-----|-----------|------------------------------|------|------|---------------------|
| H46 | 贯入角砾岩状磁铁矿 | 1.7 | J14 | 黄铜矿 | 15.9 |
| H30 | 贯入角砾岩状磁铁矿 | 1.6 | J15 | 黄铜矿 | 3.9 |
| H35 | 浮渣状磁铁矿 | 2.3 | H-69 | 黄铁矿 | 6.5 |
| H50 | 斑点状磁铁矿 | 3.3 | H-70 | 黄铁矿 | 7.3 |
| H55 | 复角砾状磁铁矿 | 1.9 | H-96 | 黄铁矿 | 6.8 |

表 3 查岗诺尔矿床内矿石及岩石的 Pb 同位素数据

| Fig. 3 | Isotopic | compositions | of Pb | for | volcanic | rocks | and | ores | from | the | Chagannur | deposi | t |
|--------|----------|--------------|-------|-----|----------|-------|-----|------|------|-----|-----------|--------|---|
|--------|----------|--------------|-------|-----|----------|-------|-----|------|------|-----|-----------|--------|---|

| 样品号 | 类型 | ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb | 误差 | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | 误差 | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | 误差 |
|---------|--------|--------------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| H-30 | 贯入角砾岩状 | 18.166 | 0.019% | 15.553 | 0.020% | 37.968 | 0.019% |
| H-46 | 贯入角砾岩状 | 18.053 | 0.035% | 15.504 | 0.041% | 37.869 | 0.042% |
| H-35 | 浮渣状 | 18.160 | 0.014% | 15.466 | 0.013% | 37.716 | 0.016% |
| H-50 | 斑点状 | 18.083 | 0.014% | 15.478 | 0.016% | 37.765 | 0.015% |
| H-61 | 斑杂状 | 19.362 | 0.016% | 15.505 | 0.018% | 37.811 | 0.019% |
| H-66 | 致密块状 | 18.090 | 0.013% | 15.500 | 0.013% | 37.848 | 0.014% |
| H-89 | 致密块状 | 18.336 | 0.018% | 15.511 | 0.019% | 37.825 | 0.018% |
| H-55 | 复角砾状 | 18.216 | 0.023% | 15.506 | 0.017% | 37.791 | 0.025% |
| b437 | 玄武岩 | 21.578 | 0.013% | 15.685 | 0.014% | 41.925 | 0.016% |
| ZB13-4b | 玄武岩 | 18.326 | 0.020% | 15.517 | 0.020% | 38.016 | 0.017% |
| H81 | 安山岩 | 18.628 | 0.015% | 15.525 | 0.016% | 38.043 | 0.017% |
| ZB13-1b | 安山岩 | 18.796 | 0.017% | 15.528 | 0.024% | 38.562 | 0.022% |
| H82 | 流纹岩 | 18.511 | 0.012% | 15.526 | 0.015% | 38.288 | 0.016% |
| b376 | 流纹岩 | 20.742 | 0.027% | 15.690 | 0.031% | 40.814 | 0.037% |
| b376 | 流纹岩 | 20.742 | 0.027% | 15.690 | 0.031% | 40.814 | 0.037% |



图 8 典型铁矿床内磁铁矿 ∂¹⁸O 值的分布 (数据引自袁家铮等,1997)



4 讨 论

4.1 矿床形成时代与构造环境

最近的研究成果表明,西天山地区火山岩的年龄自西向东差异颇大,西段火山岩早于386 Ma(安芳等2008),而东段火山岩的年龄则为310 Ma(Zhu et al.,2009;朱永峰等,2010)。刘友梅等(1994)对特克斯林场大哈拉军山组内辉长斑岩中的辉石单矿物采用 Ar-Ar 法测得其年龄为326 Ma 薛云兴等(2009)

测得西南天山哈拉达拉辉长岩内锆石的 SHRIMP U-Pb 谐和年龄为(308.3±1)Ma。这些数据与笔者 测得的查岗诺尔矿区火山岩内锆石的 U-Pb 谐和年 龄(321±2.3 Ma)(汪帮耀等 2011)较为一致。

笔者对查岗诺尔铁矿区石炭纪火山岩进行研究 后发现,这套火山岩形成于北天山大洋型岩石圈向 伊犁地块之下俯冲的活动陆缘带(汪帮耀等,2011)。 该矿区范围内的大哈拉军山组火山岩多属高钾钙碱 性系列和钾玄岩系列。其主元素、稀土元素和微量 元素地球化学特征明确地显示出,这些火山岩形成 于大陆型岛弧环境或活动大陆边缘环境。

综上所述,查岗诺尔矿床形成于早石炭世末期 北天山大洋型岩石圈向伊犁地块之下俯冲的活动陆 缘带。

4.2 矿床成因

岩浆型铁矿床的形成过程是成矿物质与载体 (熔浆、气、液)分离的过程(吴利仁,1978)。该类矿 床有以下特征:1)硅酸盐饱和的偏碱性的中、基性岩 浆,特别是安山质岩浆,既是铁的良好载体,也是铁 在适宜条件下容易与其脱离的载体,因而,安山质岩 浆对成矿极为有利;2)矿床的形成常与火山机构紧 密联系,如,矿浆贯入火山机构及其派生的裂隙内而 形成火山矿浆贯入矿床,矿浆沿火山管道以类似于 熔岩的形式溢至地面而形成喷溢堆积矿床,矿浆以 火山碎屑岩的形式喷发并沉积形成喷发沉积矿床, 等等(王可南等,1992;Nyström et al.,1994);3)矿



图 9 查岗诺尔矿床内岩石及矿石的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 和²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 图解 (据 Allegre et al., 1988 Zindler et al., 1986)

Fig. 9 Plots of ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb and ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb for volcanic rocks and ores from the Chagannur deposit (after Allegre et al., 1988; Zindler et al., 1986) 石具有特征的结构构造,如块状构造、贯入角砾岩状构造、熔渣(浮渣)状构造、云雾针状构造、矿屑构造和气孔(晶洞)构造等,磁铁矿具自形-半自形粒状结构、球状结构以及板柱状交叉的骨架状结构等(王可南等,1992;吴利仁,1978)。

尽管查岗诺尔矿区内矿石构造类型较多,但总 体上可分为2个期次,即矿浆期矿石和热液期矿石。 前者的磁铁矿粒度较细(<0.6 mm),呈粒状、板条 状及放射状,常含有特征的棕色磁铁矿微包体,有钛 铁矿呈叶片状出溶于磁铁矿中;后者的磁铁矿粒度 较粗(1~2 mm),仅呈粒状,且无上述磁铁矿包体及 固溶体溶离结构 ,与红褐色石榴子石等热液矿物密 切伴生。在宁芜南坡姑山式铁矿(火山矿浆贯入矿 床)中,板条状磁铁矿交叉呈骨架状,认为是熔体急 骤冷却时形成的典型结构(王可南等,1992)。而查 岗诺尔矿区矿石中的板条状、放射状磁铁矿可与此 种结构进行对比。在上述矿浆期矿石的磁铁矿中出 现了钛铁矿出溶结构 ,表明磁铁矿-钛铁矿连续固溶 体的形成温度较高,且随着矿浆(富铁质的熔浆)温 度的降低钛铁矿溶离出来(Alva-Valdivia et al., 2003; Henriquez et al., 1978) 这也佐证了该类矿石 为矿(岩)浆成因类型。另一方面,矿石中出现的一 些构造类型(如对称条带状、复角砾状等)以及脉石 矿物组合(红褐色石榴子石+绿帘石+阳起石等), 都表明晚期确实有热液作用叠加和改造了矿石。总 之,查岗诺尔矿床的成矿作用以矿浆作用为主,后期 热液作用为辅。

研究表明,富碱,尤其是钠)和挥发分的中-基性 火山岩有利于火山岩型铁矿的形成(徐志刚,1986; Henriquez et al.,1978;Nyström et al.,1994;余金杰 等 2002)。岩石学和岩相学研究表明,磁铁矿化与 安山岩[富碱,且 a(Na₂O)> a(K₂O)]关系极为密 切:安山岩既是矿体的赋矿岩石也是矿源岩;安山岩 在矿体附近显示出不同程度的磁铁矿化,具交织结 构,大量磁铁矿颗粒呈他形充填于硅酸盐矿物之间, 证明安山质岩石即为铁矿形成过程中成矿物质的源 岩。矿石的稀土元素、微量元素特征与安山岩一致, 这也佐证了安山岩即为矿源岩。矿石的氧同位素组 成与典型岩浆型矿床一致,以及矿石和安山岩的 Pb 同位素数据在 Pb 同位素比值图上共线,都证明了矿 石与安山岩的亲和性。因此,该矿床的成矿母岩浆 即为安山质岩浆。

与火山机构伴生的环状裂隙是矿浆或富含矿浆 的熔浆汇聚并运移的通道。这些部位的压力骤降和 氧分压的升高又促进了铁矿浆的熔离以及残浆、气、 液的生成(卢宗柳等,2006;吴利仁,1978)。在整个 成矿过程中,矿浆或富含矿浆的岩浆在火山口部位 不断上升,同时,围岩静压逐渐减小,导致矿浆或富 含矿浆的岩浆内的挥发分具有迅速分离出来的趋 势。与此同时,深部的矿浆流或富含矿浆的岩浆流 持续补充,使得这一矿(岩)浆系统得以维持高的压 力梯度。当矿(岩)浆系统的内压超过围岩静压时, 必然导致超压爆炸——隐爆作用。

如前所述,查岗诺尔矿区位于破火山口的西北 缘,其大地构造位置属于活动大陆边缘。因受幔源 岩浆活动的影响,使岛弧型地壳根部发生部分熔融, 生成了富铁的安山质岩浆(汪帮耀等,2011)。这些 岩浆经深大断裂上侵,并沿火山机构的锥状向心断 裂喷溢,形成了火山岩。富铁的岩浆和矿浆沿同一 通道上侵,在锥状向心断裂带发生隐爆,上部形成了 贯入脉状角砾岩型矿石,下部则形成了混染岩化磁 铁矿矿体。由于大量岩浆、矿浆的喷发,使岩浆房处 于高温、负压状态,有利于雨水、地下水向负压带汇 聚并与火山热液混合。升温后的混合热液萃取围岩 中的矿质并沿断裂带上升,在锥状向心断裂带产生 隐爆,形成了热液叠加矿化,并在其周围形成了强烈 的面型蚀变。热液期矿化后,受区域构造活动的控 制,经历了造山、剥蚀,矿体有一部分暴露于地表。

需要强调的是,查岗诺尔矿床的地质特征、岩石 学及矿相学研究表明,矿体与安山岩密切共生(两者 之间为渐变过渡关系)(磁铁矿化)安山岩与底部大 理岩透镜体之间并无明显的交代关系,而且,大理岩 内部无矽卡岩化和铁矿化。有少量透辉石和石榴子 石形成于主磁铁矿化之前,而大量的石榴子石、绿帘 石及阳起石等矿物则形成于主磁铁矿化之后的热液 阶段。另外,石榴子石化只是在火山凝灰岩中发育, 大量的光薄片观察表明,石榴子石应该是高温火山 气液交代火山凝灰岩的产物^①。

基于以上认识 笔者认为,查岗诺尔矿床的成因 类型应属于以安山质岩浆为母岩浆的岩浆矿床(主 要)和热液矿床(次要)的复合型矿床。

5 结 论

(1)查岗诺尔铁矿区位于伊犁地块的东北缘, 在博罗科努山系的主脊线上,属石炭纪岛弧带。

(2)该矿区位于破火山口的西北缘,矿体的产 状受火山穹窿构造的制约。矿体呈层状、似层状或 透镜状赋存于下石炭统大哈拉军山组安山岩及安山 质火山碎屑岩中,其产状与赋矿围岩一致。

(3)该矿床的成矿期可划分为矿浆成矿期和热 液成矿期。在矿浆成矿期,形成了浮渣状、豹纹状、 斑点状、致密块状、角砾岩状和阴影状等矿石;在热 液成矿期,形成了对称条带状、复角砾状及网脉状等 矿石。隐爆作用伴随着成矿全过程。

(4) 矿石的氧同位素组成与典型岩浆型矿床相 一致。矿石的稀土元素、微量元素特征显示出安山 岩的特征,它们的 Pb 同位素数据在 Pb 同位素比值 图上共线,这些都表明矿石与安山岩的亲和性。

(5)该矿床属于以安山质岩浆为母岩浆的岩浆 矿床(主要)和热液矿床(次要)的复合型矿床。

References

- Allegre C J , Lewin E and Dupre B. 1988. A coherent crust-mantle model for the uranium-thorium-lead isotopic system[J]. Chemical Geology , 70 : 211-234.
- Alva-Valdivia L M, Rivas-Sanchez M L, Goguitchaichvili A, Urrutia-Fucugauchi J, Gonzalez A and Vivallo W. 2003. Integrated magnetic studies of the El Romeral iron ore deposit, Chile: Implications for ore genesis and modeling of magnetic anomalies J. Journal of Applied Geophysics, 53:137-151.
- An F and Zhu Y F. 2008. Study on trace elements geochemistry and SHRIMP chronology of volcanic rocks in Tulasu Basin, Northwest Tianshar[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(12):2741-2748 (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Regior[M]. Beijing : Geol. Pub. House. 841p (in Chinese).
- Chen Y B, Hu A Q, Zhang G X and Zhang Q F. 1999. Zircon U-Pb age and Nd-Sr isotopic composition of granitic gneiss and its geological implications from Precambrian window of western Tianshan, NW China J. Geochemica, 28(6): 515-520 (in Chinese with English abstract).
- Gao J , Li M S , Xiao X C , Tang Y Q and He G Q. 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orgen , northern China[J]. Tectono-

physics , 287:213-231.

- Gao J , Qian Q , Long L L , Zhang X , Li J L and Su W. 2009. Accretionary orogenic process of Western Tianshan , China J . Geological Bulletin of China , 28(12):1804-1816 (in Chinese with English abstract).
- Guo X and Zhu Y F. 2006. Petrological and geochemical characteristics of the Carboniferous volcanic rocks , south of Xinyuan County , Xinjiang J]. Geological Journal of China Universities , 12(1):62-73 (in Chinese with English abstract).
- Henriquez F and Martin R F. 1978. Crystal-growth textures in magnetite flows and feeder dykes, EI Laco, Child J J. Canadian Mineralogist, 16:581-589.
- Jiang C Y, Wu W K, Xie G C and Li W P. 1992. The Permian period volcanic rock association in the western Awulale mountainous region and tectonic environment analysis[J]. Journal of Xi 'an College of Geology, 14(4):1-8 (in Chinese with English abstract).
- Jiang C Y , Wu W K , Zhang X R and Cui S S. 1996. Magma action and tectonic evolution in Awulale district , western Tianshan mountain [J]. Journal of Xi an College of Geology , 18(2):18-24 (in Chinese with English abstract).
- Li J L , Su W , Zhang X and Liu X. 2009. Zircon Cameca U-Pb dating and its significance for granulite-facies gneisses from the western Awulale Mountain , Wset Tianshan , China[J]. Geoleogical Bulletin of China , 28 (12):1852-1862 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y M, Yang W H and Gao J Y. 1994. Study on isotopic age of Dahalajunshan formation inTekesi forestry of Xinjiang[J]. Geochimica, 23(1):99-104 (in Chinese with English abstract).
 - Lu Z L and Mo J P. 2006. Geological characers and ore genesis of Awulale iron- rich deposit in Xinjiang J]. Geology and prospecting , 42 (5):8-11 (in Chinese with English abstract).
 - Long L L , Gao J , Qian Q , Xiong X M , Wang J B , Wang Y W and Gao L M. 2008. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from Yili region , western Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica , 24(4): 699-710 (in Chinese with English abstract).
 - Nyström J O and Henriquez F. 1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden : Ore textures and magnetite geochemistry J J. Econ. Geol. , 89 : 820-839.
 - Qian Q , Gao J and Klemd R. 2009. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen : Constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronogy and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiate , NW China J]. International Journal of Earth Sciences , 98 : 551-569.
 - Sun S S and McDonough W F. 1989. 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[M]. London : Geological Society of London Special

Publication , 42:313~345.

- Tian J Q , Hu J T , Yi X Z , Li M , Dong Q H and Liu X Z. 2009. Metallogenic condition and prospect of Chagannur-Beizhan belt in Western Tianshar[J]. West-China Exploration Engineering , 8 : 88-91 (in Chinese).
- Wang B , Shu L S , Cluzel D , Faure M , Charvet J and Ma Q. 2006. Geochemical characteristics and tectonic significance of Carboniferous volcanic rocks in the northern part of Yili Block , Xinjiang J J. Geology in China , 33(3):498-508 (in Chinese with English abstract).
- Wang K N and Yao P H. 1992. Review of iron ore deposits in China [M]. Beijing : Metallurgical Industry Press. 584p(in Chinese).
- Wang B Y , Chen W G , Wang J T , Shao Q H , Xia Z D , Hu X J and Jiang C Y. 2011. Petrogenesis and magma source for Carboniferous volcanic rocks of Chagannur iron deposit in Western Tianshan , Xingjiang J J. Acta Petrologica Sinica (in press).
- Wang Q M , Lin Z B , Huang C , Huang Q F and Zheng J. 2001. Metallogenic series and prospecting target of ore at Chagannur region of the Western Tianshar[J]. Xinjiang Geology , 19(4): 263-267 (in Chinese with English abstract).
- Wu L R. 1978. Fundamental of forming of the Mesozoic Ningwu-type volcanic iron deposits in east China J J. Geology and Exploration , 6 : 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Xu Z G. 1986. Ore-forming background and characteristics of magmas of the Mesozoic volcanic iron deposits in east China[J]. Mineral Deposits , 5(1):13-25 (in Chinese with English abstract).
- Xue Y X and Zhu Y F. 2009. Zircon SHRIMP chronology and geochemistry of the Haladala gabbro in south-western Tianshan Mountains
 [J]. Acta Petrologica Sinica , 25(6): 1353-1363 (in Chinese with English abstract).
- Yuan J Z , Zhang F , Yin C G and Shao H X. 1997. Systematical study on ore-magma genesis of Meishan iron ore deposit[J]. Geoscience , 11(2):170-176 (in Chinese with English abstract).
- Yu J J and Mao J W. 2002. Geology and ore-forming environment of Kiruna-type iron deposits J J. Mineral Deposits , 21:83-86 (in Chinese with English abstract).
- Zhao R F , Chen X H , Wang Q M , Liu T , Bai H H , Yuan Y J , Yao W G and Li C A. 2006. New discoveries and prospecting potential in Western-southwestern Tianshan metallogenic [J]. Northwestern Geology , 39(2):34-56 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y F, Zhang L F, Gu L B, Guo X and Zhou J. 2005. Study on trace elements geochemistry and SHIMP chronology of Carboniferous lava, West Tianshar[J]. Chinese Science Bullein, 50(18):2004-2014 (in Chinese).
- Zhu Y F, Guo X, Song B 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, London, 166:1085-

1099.

- Zhu Y F, An F, Xue Y X, Chen B and Zhang L F. 2010. Zircon U-Pb age for Kesang Rondong volcanic rocks, Southwest Tianshan Mts., Tekes, Xinjiang J J. Acta Petrologica Sinica, 26 (8):2255-2263 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Z X, Wang K Z, Zheng Y J, Sun G H, Zhang C and Li Y P. 2006. The Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic inrusions in the southern Yili Block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting J. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1193-1200 (in Chinese with English abstract).
- Zindler A and Hart S R. 1986. Chemical geodynamics J J. Annual Review of Earth and Planetary Sciences , 14:493-571.

附中文参考文献

- 安 芳,朱永峰. 2008. 西北天山吐拉苏盆地火山岩 SHRIMP 年代学 和微量元素地球化学研究 J] 岩石学报 24(12) 2741-2748.
- 陈义兵,胡霭琴,涨国新,涨前锋.1999. 西天山前寒武纪天窗花岗片 麻岩的锆石 U-b 年龄及 Nd-Sr 同位素特征[J]. 地球化学,28 (6) \$15-520.
- 高 俊 浅 青 龙灵利 涨 喜 李继磊 苏 文. 2009. 西天山的增 生造山过程 J]. 地质通报 28(12):1804-1816.
- 郭 璇 朱永峰. 2006. 新疆新源县城南石炭纪火山岩岩石学和元素
 地球化学研究 J]. 高校地质学报 ,12(1):62-73.
- 姜常义,吴文奎,谢广成,李伍平.1992.阿吾拉勒山西段二叠纪火山 岩组合与构造环境分析[]].西安地质学院学报,14(4):1-8.
- 姜常义,吴文奎,张学仁,崔尚森. 1996. 西天山阿吾拉勒地区岩浆活 动与构造演化[J]. 西安地质学院学报,18(2):18-24.
- 李继磊 苏 文 涨 喜 刘 新. 2009. 西天山阿吾拉勒西段麻粒岩 相片麻岩锆石 Cameca U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 28(12):1852-1862.
- 刘友梅 /杨蔚华 /高计元. 1994.新疆特克斯县林场大哈拉军山组火山 岩年代学研究 J]. 地球化学 23(1) 99-104.
- 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[]].岩石 学报,24(4) 699-710.
- 卢宗柳,莫江平. 2006. 新疆阿吾拉勒富铁矿地质特征和矿床成因 [J]. 地质与勘探 42(5)8-11.
- 田敬全,胡敬涛,易习正,李 明,董全宏,刘兴忠. 2009. 西天山查岗 诺尔-备战一带铁矿成矿条件及找矿分梳 J]. 西部探矿工程 8: 88-91.
- 王 博 舒良树 Cluzel D, Faure M, Charvet J,马 前. 2006. 新疆伊 犁北部石炭纪火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 中国地 质 33(3)498-508.
- 汪帮耀,陈文革,王江涛,邵青红,夏昭德,胡秀军,姜常义. 2011.西 天山查岗诺尔铁矿区石炭纪火山岩岩石成因与源区性质 J].岩 石学报(待刊).

- 王可南,姚培慧. 1992. 中国铁矿床综论[M]. 北京:冶金工业出版 社. 584页.
- 王庆明 林卓斌 ,黄 诚 ,黄启峰 ,郑 洁. 2001. 西天山查岗诺尔地 区矿床成矿系列和找矿方向[]]. 新疆地质,19(4)263-267.
- 吴利仁, 1978, 我国东部中生代陆相火山岩宁芜型铁矿形成的基本 原理]]. 地质与勘探 6:1-8.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质 **志** M] 北京 地质出版社. 841 页.
- 徐志刚, 1986, 中国东部中生代陆相火山岩型铁矿成矿北京和火山 岩浆性质 11. 矿床地质 5(1):13-25.
- 薛云兴,朱永峰. 2009. 西南天山哈拉达拉岩体的锆石 SHRIMP 年代 学及地球化学研究[]] 岩石学报 25(6):1353-1363.
- 余金杰,毛景文. 2002. Kiruna 型铁矿床基本地质特征和成矿环境 []]. 矿床地质 21 83-86.

袁家铮 张 峰 殷纯嘏 邵宏翔, 1997, 梅山铁矿矿浆成因的系统探

· [1] 现代地质 11(2):170-176.

- 赵仁夫 程晓红,王庆明,刘 拓,白洪海,袁永江,姚文光,李长安. 2006. 西天山-西南天山成矿带勘查新发现及找矿远景 []. 西北 地质 39(2)34-56.
- 朱永峰 涨立飞 ,古丽冰 ,郭 璇 ,周 晶. 2005. 西天山石炭纪火山 岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究 [] 科学通报, 50(18) 2004-2014.
- 朱永峰 安 芳 薜云兴 陈 博 张立飞. 2010. 西南天山特克斯科 桑溶洞火山岩的锆石 U-Pb 年代学研究 11. 岩石学报 26 2255-2263.
- 朱志新,王克卓,郑玉洁,孙桂华,张 超,李亚萍. 2006. 新疆伊犁地 块南缘志留纪和泥盆纪花岗岩质侵入体锆石 SHRIMP 定年及其 the transformed to a second the transformed to a second to a secon 形成时代构造背景的初步探讨[_] 岩石学报,22(5):1193-