

曾红, 柴凤梅, 周刚, 等. 新疆雅满苏铁矿床矽卡岩和磁铁矿矿物学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 1914-1928.
Zeng Hong, Chai Fengmei, Zhou Gang, et al. Mineralogy of skarn and magnetite of the Yamansu iron deposit and its geological significance[J].
Geology in China, 2014, 41(6): 1914-1928(in Chinese with English abstract).

新疆雅满苏铁矿床矽卡岩和磁铁矿矿物学特征及其地质意义

曾红¹ 柴凤梅¹ 周刚² 耿新霞³ 李强³ 孟庆鹏⁴ 徐璐璐¹

(1. 新疆大学地质与勘查工程学院新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆地质矿产勘查开发局, 新疆乌鲁木齐 830000; 3. 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开放实验室, 北京 100037; 4. 新疆维吾尔自治区矿产实验研究所, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要:雅满苏铁矿床位于东天山中段, 矿体赋存于下石炭统雅满苏组安山质火山碎屑岩中, 受近EW向断裂及环形断裂构造控制。矿体主要呈层状、似层状、透镜状, 近矿围岩蚀变强烈, 形成石榴石矽卡岩及复杂矽卡岩。电子探针分析结果表明, 石榴石为钙铁石榴石-钙铝榴石系列, 其化学组成可表示为 $And_{45.68-100}Gro_{0.67-57.95}(Alm+Sps)_{11-29.03}$, 与典型的矽卡岩型铁矿中石榴石端员组分相似。在磁铁矿 $Ca+Al+Mn-Ti+V$ 图解中, 大部分样品落入矽卡岩型铁矿区; $TiO_2-Al_2O_3-MgO$ 图解中, 大多数的样品落入沉积变质接触交代磁铁矿趋势区, 部分早期磁铁矿落在岩浆趋势区内。结合矿床地质特征和矿物学研究, 认为大多数样品经过了一个热液交代作用过程, 表明雅满苏铁矿的形成与岩浆热液交代作用有关。

关键词:雅满苏铁矿床; 电子探针分析; 矽卡岩; 磁铁矿

中图分类号: P618.31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)06-1914-15

1 引言

新疆东天山地区位于中亚造山带南缘, 大地构造位置处于哈萨克斯坦—准噶尔板块与塔里木板块的结合部位(图1)^[1-3]。该区经历了一系列长期而且复杂的构造演化历史, 包括大陆裂解、俯冲造山(增生造山)、碰撞造山—造山后和陆内多个演化阶段^[2,4-9]。其特殊的区域地质构造环境控制了区内雅满苏—沙泉子铜、金、铁、锰、铅锌成矿带的成矿特征, 作为中国西部地区重要的铜、镍、铁和金等贵金属成矿带之一^[10-13], 区内发现了雅满苏铁矿等一系

列大中型矿床, 其成矿条件十分优越, 具有广阔的找矿前景。雅满苏铁矿于1957年由新疆地矿局第六地质大队发现, 1965年正式开采, 是一座大型露天铁矿, 开采了近50年。目前该矿露天开采已经闭坑, 其深部仍有较大的找矿潜力。前人对该矿床地质、地球化学特征及矿床成因等方面做了大量的研究^[14-18], 但对于该矿床广泛发育的矽卡岩矿物的研究相对薄弱, 矽卡岩的形成机制及其与成矿的关系还有待于进一步研究确定。本文在野外地质调查和矿相学研究的基础上, 利用电子探针对主要的矽卡岩矿物以及磁铁矿进行研究, 探讨矽卡岩的形成

收稿日期: 2014-10-08; 改回日期: 2014-10-29

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201211073-03)及国家重点基础研究发展计划“973”项目(2012CB416803)资助。

作者简介: 曾红, 女, 1988年生, 硕士生, 从事矿床地质、地球化学研究; E-mail: helenzenghong@163.com。

通讯作者: 周刚, 男, 1966年生, 教授级高工, 主要从事地质矿产勘查及技术管理与研究工作, E-mail: xazhougang@126.com。

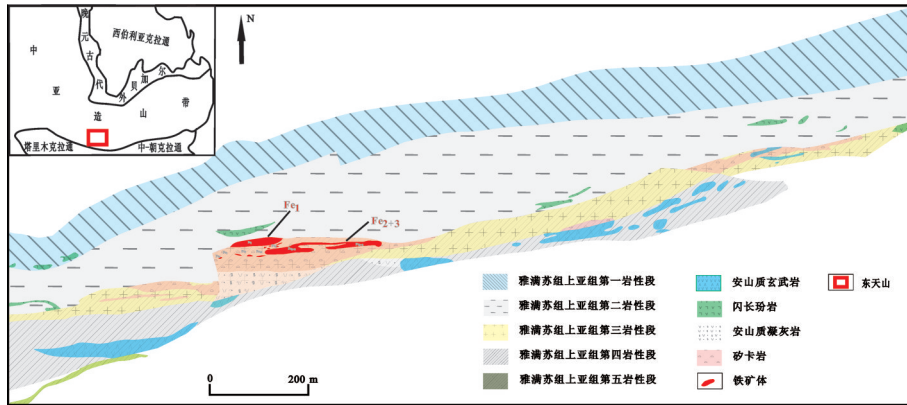


图1 雅满苏铁矿矿区地质略图(据资料①修编)

Fig.1 Geological map of the Yamansu iron ore district (after No. 6 Geological Party of Xinjiang, 2005)

机制及其与铁矿的关系,为进一步的深入研究及矿产勘查提供新的资料。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区出露的地层主要为下石炭统雅满苏组上亚组,为一套浅海相火山岩夹碎屑岩建造,在火山喷发的同时或其间歇期有滨浅海相碎屑及生物化学的沉积。根据岩性可分为5个岩性段;第一岩性段为灰白-青灰色灰岩,结晶灰岩,局部大理岩,夹安山岩及英安质含砾晶屑凝灰岩;第二岩性段下部为碱性玄武质凝灰岩夹结晶灰岩、安山质玻屑凝灰岩。上部为灰色结晶灰岩、大理岩、玄武质火山集块角砾岩、碱性玄武质火山集块岩、碱性玄武质火山集块凝灰岩,局部见小的磁铁矿体;第三岩性段下部为砂卡岩化玄武岩,碱性玄武质火山角砾岩、集块角砾岩,局部构造破碎带有交代-充填型磁铁矿产出;中部为玄武岩、玄武质晶屑凝灰岩(常蚀变为石榴石砂卡岩或复杂砂卡岩,有磁铁矿化或铁矿体);上部为流纹质、英安质凝灰岩,蚀变安山质晶屑凝灰岩;第四岩性段上部为灰绿色安山质晶屑凝灰岩及火山角砾岩。下部安山质晶屑凝灰岩夹凝灰质灰岩薄层,局部夹辉石闪长玢岩和辉石安山玢岩;第五岩性段为青灰色灰岩,部分结晶灰岩或大理岩夹安山质晶屑凝灰岩(图1)。矿区脉岩主要发育闪长玢岩,但其规模都不大,总体呈近东西向展

布,与区域构造线方向基本一致。矿床产于雅满苏背斜南翼近轴部,总体为一向南倾的单斜构造。区内断裂构造发育,成矿期断裂为近EW向压扭性逆断层,具多期次活动特征,对铁矿成矿起着导矿、容矿的作用;成矿期后断裂,主要是一些逆冲断层、脆性横向平移正断层及斜向平移逆断层,对矿体有一定的破坏作用。

2.2 矿体特征

雅满苏铁矿共发现大小矿体23个,呈层状、似层状或透镜状产出,其长宽之比一般为5:1~20:1。其空间分布受成矿期断裂构造的控制。矿床平均品位51.43%。以 Fe_1 、 Fe_{2+3} 号矿体规模较大,赋存于上、下两个赋矿层位。 Fe_1 矿体产于下部赋矿部位,东西长940 m,倾向延伸大于540 m; Fe_{2+3} 矿体居于上部赋矿部位,走向长1314 m,倾向延深130 m。矿体围岩为富含碳酸盐的细粒中性火山碎屑岩,近矿围岩蚀变强烈,主要为石榴石砂卡岩及石榴石透辉石绿帘石砂卡岩、石榴石绿帘石砂卡岩等复杂砂卡岩(图2)。

2.3 矿石特征

矿石中金属矿物主要为磁铁矿,伴有少量黄铁矿、赤铁矿、闪锌矿、黄铜矿等;非金属矿物主要有石榴石、透辉石、透闪石、绿帘石、斜长石、阳起石、方解石、石英等。矿石结构主要为半自形-他形结构、交代结构,构造以块状构造和浸染状构造(图3-A)为主,局部为条带状构造(图3-B)。

矿石中磁铁矿大致可分为早晚两期。早期磁铁

①新疆维吾尔自治区第六地质大队. 雅满苏铁矿床地质调查报告, 2005.

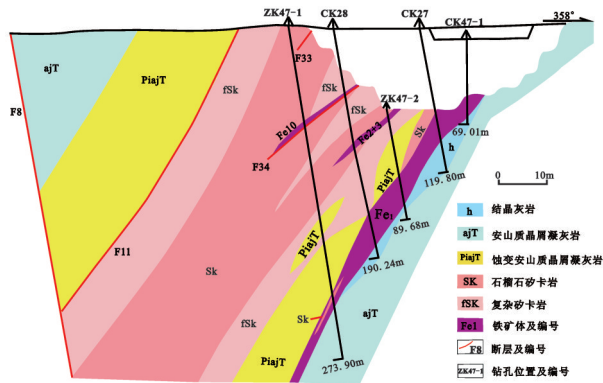


图2 雅满苏铁矿矿区地质剖面图(据资料① 修编)

Fig.2 Geological section of the Yamansu iron ore district (after No. 6 Geological Party of Xinjiang, 2005)

矿大多为他形-半自形粒状,颗粒总体较细且大部分磁铁矿发白(图3-C),一般呈稀疏浸染状、纹层条带状、部分呈致密块状等产出,常与石榴石、辉石、绿帘石等硅酸盐矿物共生。磁铁矿晶隙中常见少量细粒他形黄铁矿(图3-D)及蚀变的钠长石;晚期磁铁矿大多粒度较粗、晶形较好(图3-E),部分磁铁矿成集合体产出,呈稠密浸染状、致密块状。这类矿石一般位于矿体的边缘部位,或者沿断裂裂隙分布,常与绿帘石、绿泥石、钾长石、阳起石等矿物共生。这个时期的磁铁矿常交代石榴石、透辉石等早期矿物(图3-J),为典型的热液交代作用的产物。晚期形成的磁铁矿也有较细粒者,呈浸染状或条带状分布于绿帘石砂卡岩(图3-G)或复杂砂卡岩中。

铁矿石中黄铁矿形成较晚,大多呈他形-半自形粒状,一般呈脉状(图3-H)、浸染状、条带状(图3-B)或团块状(图3-F)分布于矿石内部或者与围岩的接触带上,常常交代早期形成的矿物。黄铜矿一般呈细粒他形粒状,呈不规则细脉状分布(图3-I),常伴与黄铁矿一起出现。

石榴石为磁铁矿矿石中较为常见的脉石矿物之一,主要有两期:第一期是致密块状细粒石榴石,呈浅褐色-红褐色,半自形-自形晶粒,粒径0.14~1.16 mm。部分具环带结构和双晶,个别呈筛状变晶结构,可见其受后期构造应力作用而发生碎裂和错位的现象。这类石榴石大多与磁铁矿共生(图3-J);第二期是粗粒石榴石,深棕-黑红色,粒径0.15~

2.15 mm,半自形-自形粒状,呈五角十二面体、四角八面体,大部分具同心环带构造和双晶,部分石榴石边部被后期热液交代呈亮边(图3-K)。

透辉石为磁铁矿矿石中主要脉石矿物,常呈放射状集合体产出,具有弱的多色性,多为它形-半自形粒状、短柱状(图3-L),粒径0.13~0.5 mm,多与细粒石榴石密切共生。

绿帘石呈粒状、柱状、板状,粒径0.06~0.57 mm,见其以粒状集合体分布,或沿着石榴石、辉石的边部或内部交代,形成交代残余结构或交代反应边结构(图3-L)。

绿泥石大部分产于石榴石砂卡岩中,充填在石榴石的间隙,无交代现象;另有部分绿泥石广泛分布于所谓复杂砂卡岩中,一般与透辉石、绿帘石、钾长石、钠长石及石榴石共生,对上述各种矿物有明显的交代现象。

钾长石化在矿区较发育,在矿石和围岩中均有发现。钾长石一般呈团块状、浸染状、星点状及条带状不均匀分布于矿体、围岩以及接触带中,局部出现钾长石与磁铁矿互呈条带。

阳起石多呈放射状和短柱状,常交代石榴石、磁铁矿。

在铁矿石及砂卡岩中常见碳酸盐矿物呈脉状产出,充填在石榴石、辉石、绿帘石的空隙中,或者切穿砂卡岩,是矿化晚期的产物。

3 电子探针分析

3.1 样品采集及分析方法

样品主要采自矿区的Fe₁和F₂₋₃矿体。将所采集的样品磨制成电子探针光薄片,在详细的显微镜鉴定的基础上,从代表性的样品中挑选出不同期次、种类和结构构造的石榴石等砂卡岩矿物以及磁铁矿进行成分分析。实验在中国地质科学院矿产资源研究所进行,仪器为JEOL_JAX8230型电子探针,测试加速电压20 kV,束电流20 nA,束斑直径5 μm,标样采用天然矿物或合成金属国家标准,分析误差小于0.01%。

3.2 石榴石分析结果

雅满苏铁矿床52件石榴石电子探针分析结果、阳离子数及端员组分(表1~2)显示:石榴石端员组

①新疆维吾尔自治区第六地质大队,雅满苏铁矿床地质调查报告,2005。

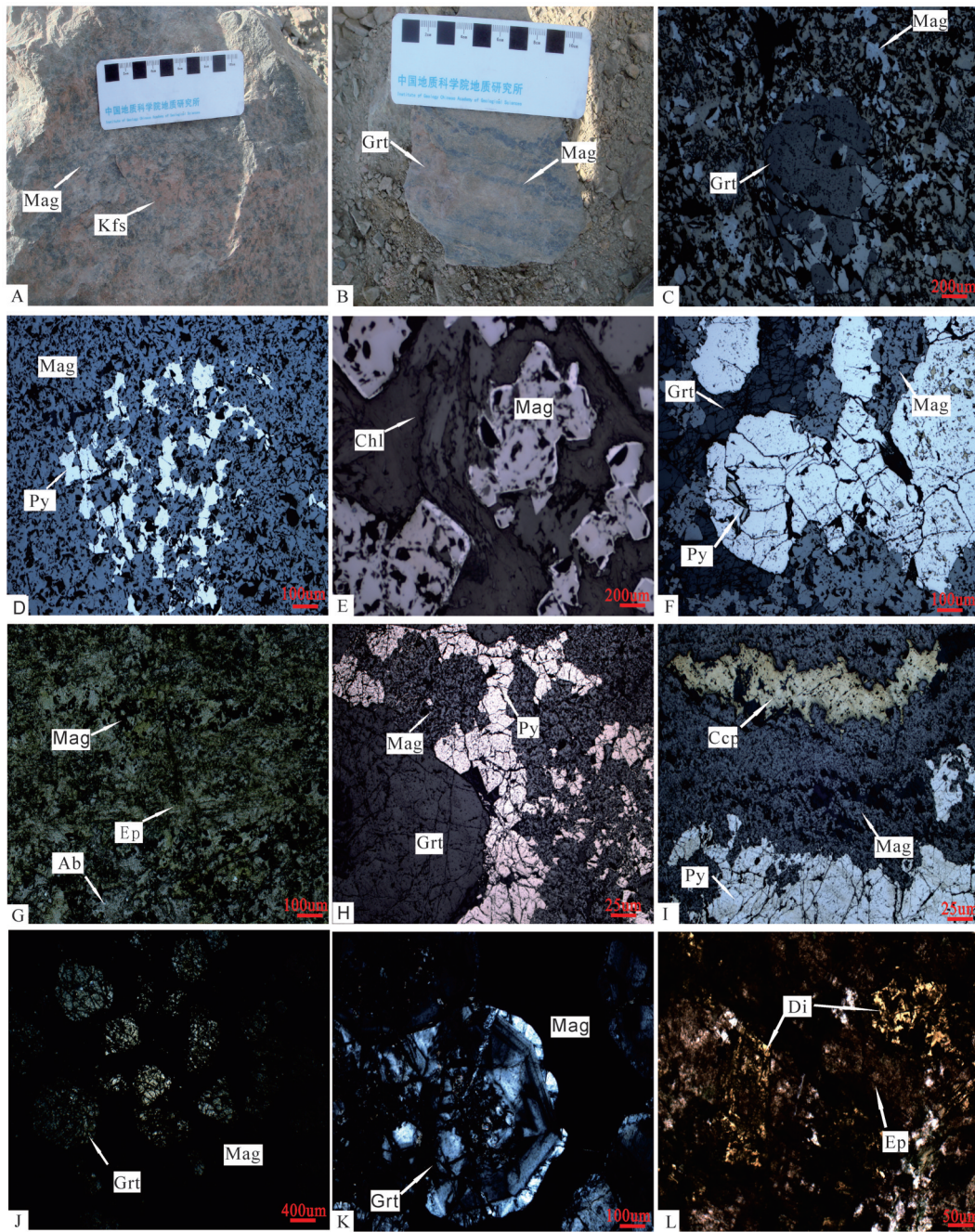


图3 雅满苏铁矿矿石特征

A—浸染状磁铁矿;B—石榴石中的条带状磁铁矿;C—早期细粒不规则亮白磁铁矿与石榴石共生(反射光);D—磁铁矿中的细粒他形黄铁矿(反射光);E—晚期粗粒自形磁铁矿与绿泥石(反射光);F—团块状黄铁矿交代早期形成的矿物(反射光);G—浸染状磁铁矿分布在绿帘石矽卡岩中(单偏光);H—脉状黄铁矿(反射光);I—磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿互成条带(反射光);J—磁铁矿与较破碎无环带石榴石共生(单偏光);K—磁铁矿交代环带石榴石呈亮边(正交偏光);L—绿帘石交代粒状、短柱状辉石(正交偏光);Mag—磁铁矿;Py—黄铁矿;Ccp—黄铜矿;Grt—石榴石;Di—辉石;Ep—绿帘石;Chl—绿泥石;Ab—钠长石;Kfs—钾长石

Fig.3 Characteristics of magmatic ores from the Yamansu iron deposit

A—Disseminated magnetite; B—Banded magnetite in garnet; C—Early fine-grained irregular white magnetite associated with garnet (reflected light); D—Fine-grained and anhedral pyrite in magnetite (reflected light); E—Late coarse-grained euhedral magnetite associated with epidote (reflected light); F—Massive pyrite replacing early minerals (reflected light); G—Disseminated magnetite distributed in epidote skarn (plainlight); H—Pyrite veins (reflected light); I—Alternate agnetite, pyrite and chalcopyrite forming stripes (reflected light); J—Magnetite associated with the crushed non-banded garnet (plainlight); K—Magnetite replacing banded garnet, showing bright side (crossed nicols); L—Epidote replacing granular short columnar diopside (crossed nicols);

Mag—Magnetite; Py—Pyrite; Ccp—Chalcopyrite; Grt—Garnet; Di—Diopside; Ep—Epidote; Chl—Chlorite; Ab—Albite; Kfs—Potassium feldspar

分以钙铁榴石(And)为主,其变化范围为45.68%~100%,平均63.59%;其次是钙铝榴石(Gro),其变化范围为0.67%~57.95%,平均34.11%;铁铝榴石(Alm)和锰铝榴石(Sps)的含量较低,两者之和的变化范围为1.1%~29.03%,平均4.44%。而镁铝榴石(Prp)和铬铁榴石(Ura)的含量更低,平均含量分别只有0.27%和0.11%。石榴石端员组分图解(图4)显示其端员组分为钙铁榴石-钙铝榴石系列,钙铁榴石比钙铝榴石的含量高一些,绝大多数的石榴石集中在两者的过渡部位,其中第一期石榴石富铁而第二期石榴石相对富铝。前人通过实验研究表明,在氧化环境下生成的石榴石富钙铁榴石分子,而还原条件下生成的石榴石更富含钙铝榴石组分^[19-20]。雅满苏铁矿第一期石榴石钙铁榴石组分高达100%,而第二期石榴石钙铝榴石组分达57.95%,这充分说明第一期石榴石形成环境较氧化,而第二期石榴石形成环境相对还原。雅满苏铁矿床的石榴石环带比较发育,为了进一步了解石榴石环带的元素组成变化,对部分具有环带结构的石榴石从环带的核部向边缘依次进行电子探针分析。分析结果(表2)表明,石榴石环带从核部向边缘Si和Ca元素的含量没有明显的变化,Fe和Al之间的替代关系亦不明显,仅在小范围内波动,变化规律不甚明显,反映了石榴石形成过程中物理化学环境改变微弱。

3.3 磁铁矿分析结果

由32件磁铁矿的电子探针分析结果(表3)可以看出:磁铁矿主要成分为FeO与Fe₂O₃(FeO^T=79.07%~94.77%),SiO₂=0.02%~3.26%,TiO₂=0.01%~0.37%,MnO=0.01%~0.19%,MgO=0.01%~0.54%,CaO=0.02%~1.2%,Al₂O₃=0.01%~3.89%。

雅满苏铁矿床中的磁铁矿全铁FeO^T含量与其他次要组分的关系图(图5)显示,磁铁矿中FeO^T与Al₂O₃、CaO、MgO、SiO₂总体上均呈负相关关系。早期磁铁矿(稀疏浸染状和条带状矿石)FeO^T含量比晚期相对高些,晚期磁铁矿(稠密浸染状和块状矿石)中Al₂O₃、CaO、MgO、SiO₂含量相对较高,一般认为FeO^T与SiO₂、MgO这种负相关性反映了相对酸性的环境不利于磁铁矿的形成,而相对基性的环境则有利于磁铁矿的生成^[21-22]。

国外学者Dupuis et al^[23]对不同成因类型的典型铁矿床的铁氧化物中微量元素进行了对比研究,提

出用铁氧化物中微量元素Ca+Al+Mn-Ti+V判别图解(图6)可以判断一些矿床的成矿类型。雅满苏铁矿的大多数样品落入矽卡岩区,部分早期的磁铁矿落入基鲁纳型和IOCG型区。在磁铁矿的TiO₂-Al₂O₃-MgO成因图解(图7)中,大多数的样品落入沉积变质接触交代磁铁矿趋势区,部分早期磁铁矿分布在基性-超基性磁铁矿及酸性-碱性岩浆的趋势区内。

4 讨 论

4.1 矽卡岩成因

矽卡岩形成的地质条件非常广泛,常产于侵入体附近、断裂带或剪切带、浅部的地热系统、海底以及下地壳深埋的变质体中,形成于区域变质、混合岩化、矿浆充填、或接触变质作用以及不同流体参与的交代作用^[25-28]。Einaudi et al^[29]根据矽卡岩形成机理不同将矽卡岩划分为交代矽卡岩和变质矽卡岩两类。交代矽卡岩一般产于距火成岩侵入体和碳酸盐岩石的接触带有一定距离的碳酸盐岩石的断裂中,形成温度较高,作用的流体一般认为是岩浆成因的;而变质矽卡岩则形成于区域变质阶段。野外详细的地质观察和室内综合研究,结合区域资料分析,雅满苏铁矿大量矽卡岩矿物非区域变质成因,是岩浆热液交代围岩的结果,为交代矽卡岩。雅满苏铁矿近矿围岩发育大量的矽卡岩主要为石榴石矽卡岩、透辉石矽卡岩、透辉石石榴石矽卡岩、绿帘石透辉石矽卡岩,石榴石端员组分以钙铁榴石-钙铝榴石系列为主,这种特点与蒙库铁矿^[30]、长江中下游^[31-33]及大兴地区^[34]矽卡岩型铁矿的石榴石特征一致。与世界上主要的大型矽卡岩型铁矿石石榴石特征具有可比性^[35]。这些特点也表明雅满苏铁矿矽卡岩为交代矽卡岩。但雅满苏铁矿矽卡岩并非产于中酸性岩体与碳酸盐岩的接触部位,而是呈似层状、透镜状产于海相火山-沉积地层中,与典型的接触交代矽卡岩不同。矿区雅满苏组火山岩基性、中性、酸性均有出露且其具有相同的稀土配分模式图,为同源岩浆结晶分异的产物(具体数据另文发表)。表明岩浆经历了较充分的结晶分异作用,为岩浆流体(热液)的形成提供了可能。岩浆喷发的晚期阶段或期后,岩浆热液沿火山喷发过程中形成的断裂裂隙运移,交代火山岩及灰岩,形

表 1 雅满苏铁矿床石榴子石电子探针分析结果(%)及端员组分
Table 1 Electron microprobe analyses (%) and end members of representative garnet from the Yamansu ore deposit

分析项目	YMS1-1-1	YMS1-2-1	YMS2-5-2	YMS2-7-1	YMS3-2-1	YMS3-3-1	YMS4-1-1	YMS5-2-1	YMS12-2-1	YMS12-4-1	YMS12-4-3	YMS13-2-2	YMS13-4-1	YMS14-2-1
SiO ₂	36.88	37.05	37.42	37.36	36.25	37.02	36.39	37.10	36.11	36.26	36.10	37.28	37.08	34.80
TiO ₂	0.68	0.15	0.22	0.10	0.07	0.25	1.51	0.21	0.06	0.03	0.23	0.19	0.13	0.02
Al ₂ O ₃	8.68	8.54	8.99	8.56	6.95	9.79	7.61	10.38	5.74	11.50	6.73	8.95	8.25	1.07
Cr ₂ O ₃	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.03	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01
FeO	18.14	19.13	18.82	18.82	20.74	16.17	19.05	17.06	22.00	15.19	20.76	18.99	19.05	27.73
MnO	0.48	0.48	0.46	0.33	0.44	0.57	0.40	0.66	0.43	0.59	0.32	0.50	0.49	0.33
MgO	0.05	0.03	0.04	0.01	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.08	0.03	0.08	0.09	0.14
CaO	33.20	33.22	33.02	33.67	32.70	33.18	33.16	32.59	32.75	33.61	32.74	33.30	33.11	32.25
Na ₂ O	0.05	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.04	0.02	0.06	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.00	0.03	0.02	0.03	0.00	0.01	0.02	0.03
Total	98.16	98.68	99.07	98.98	97.22	97.12	98.25	98.13	97.24	97.34	96.99	99.34	98.26	96.39
Si	2.98	2.99	3.00	3.00	2.98	3.00	2.95	2.99	2.99	2.94	2.98	2.98	3.00	2.96
Ti	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.09	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
Al	0.83	0.81	0.85	0.81	0.67	0.94	0.73	0.99	0.56	1.10	0.65	0.84	0.79	0.11
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	1.16	1.19	1.14	1.19	1.33	1.05	1.24	1.01	1.45	0.94	1.35	1.16	1.21	1.92
Fe ²⁺	0.07	0.10	0.12	0.08	0.09	0.05	0.05	0.14	0.07	0.09	0.09	0.11	0.08	0.06
Mn	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02
Mg	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
Ca	2.87	2.87	2.84	2.90	2.88	2.88	2.88	2.81	2.90	2.92	2.89	2.85	2.87	2.94
Ura	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.19	0.05	0.11	0.07	0.00	0.14	0.00	0.00	0.05
And	58.36	59.40	57.40	59.44	66.43	52.67	63.09	50.61	72.07	46.13	67.19	57.91	60.57	94.65
Gro	38.08	35.97	37.45	37.24	29.29	43.93	34.19	43.01	24.22	49.30	28.93	36.99	35.30	2.10
Pyr	0.21	0.11	0.16	0.03	0.16	0.18	0.15	0.23	0.15	0.33	0.13	0.32	0.35	0.58
Spe	1.09	1.10	1.05	0.74	1.03	1.32	0.94	1.49	1.01	1.32	0.75	1.13	1.12	0.79
Alm	2.23	3.32	3.94	2.54	3.10	1.71	1.58	4.55	2.49	2.92	2.85	3.64	2.66	1.85

续表1

分析项目	YMS15-1-2	YMS15-2-2	YMS15-3-2	YMS16-2-5	YMS16-3-1	YMS16-3-2	YMS18-2-1	YMS19-1-1	YMS19-2-1	YMS21-2-1	YMS26-2-1	YMS26-4-1	YMS30-1-1
SiO ₂	37.14	36.95	37.00	36.97	36.68	36.65	35.53	36.75	37.10	36.78	36.81	36.80	36.78
TiO ₂	0.01	0.00	0.49	0.08	0.00	0.05	0.00	0.20	0.15	0.28	0.42	0.33	1.03
Al ₂ O ₃	22.52	6.76	8.65	8.04	8.69	6.19	0.16	7.17	8.22	7.95	7.13	6.95	9.40
Cr ₂ O ₃	0.07	0.04	0.06	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.05	20.97	18.57	20.17	19.38	21.70	27.38	20.95	19.15	19.07	20.16	19.97	18.00
MnO	0.79	0.48	0.44	0.52	0.52	0.49	0.21	0.44	0.45	0.45	0.41	0.26	0.55
MgO	0.00	0.03	0.11	0.05	0.09	0.04	0.03	0.06	0.06	0.08	0.09	0.09	0.16
CaO	21.66	33.06	33.16	33.04	32.83	33.06	32.27	33.22	33.30	33.42	32.97	32.76	32.71
Na ₂ O	0.04	0.00	0.00	0.03	0.11	0.07	0.03	0.25	0.03	0.00	0.02	0.08	0.00
K ₂ O	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.12	0.07	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.04	0.00
Total	95.35	98.31	98.47	98.91	98.39	98.24	95.75	99.10	98.48	98.04	98.06	97.27	98.62
Si	2.99	3.00	2.98	2.98	2.97	2.99	3.03	2.98	3.00	2.98	2.99	3.01	2.95
Ti	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.06
Al	2.14	0.65	0.82	0.76	0.83	0.60	0.02	0.68	0.78	0.76	0.68	0.67	0.89
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.00	1.35	1.17	1.24	1.19	1.41	1.96	1.32	1.22	1.24	1.30	1.31	1.10
Fe ²⁺	0.88	0.08	0.08	0.12	0.13	0.07	0.00	0.09	0.08	0.05	0.07	0.06	0.11
Mn	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04
Mg	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Ca	1.87	2.88	2.86	2.86	2.85	2.89	2.95	2.88	2.88	2.90	2.87	2.87	2.82
Ura	0.22	0.13	0.19	0.00	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
And	0.00	67.42	58.60	61.93	58.73	70.27	98.71	65.93	60.86	61.97	65.61	66.07	55.26
Gro	57.95	28.58	36.98	32.82	35.34	25.97	0.67	29.72	35.28	34.88	30.80	30.87	39.14
Pyr	0.00	0.13	0.45	0.20	0.37	0.15	0.12	0.22	0.25	0.31	0.37	0.38	0.63
Spe	1.68	1.11	1.00	1.19	1.18	1.13	0.50	1.00	1.03	1.04	0.94	0.60	1.25
Alm	27.35	2.64	2.79	3.87	4.25	2.47	0.00	3.13	2.59	1.81	2.27	2.08	3.71

表2 雅满苏铁矿床石榴子石颗粒带成分变化分析结果(%)
Table 2 Analytical (%) results of the compositional variation in garnet ring of the Yamansu iron deposit

分析项目	YMS1-3-1	YMS1-3-2	YMS1-3-3	YMS2-2-1	YMS2-2-2	YMS2-2-3	YMS5-3-1	YMS5-3-2	YMS5-3-3	YMS13-3-1	YMS13-3-2	YMS13-3-3	YMS13-3-4
SiO ₂	37.59	36.33	36.76	36.97	36.78	37.05	37.05	37.12	37.21	37.64	37.22	37.49	37.09
TiO ₂	0.11	0.07	0.07	0.16	0.28	0.09	0.32	0.26	0	0.18	0.02	0.04	0.26
Al ₂ O ₃	8.14	6.73	6.94	7.6	7	6.26	9.24	9.7	9.4	11.63	8.34	9.02	8.35
Cr ₂ O ₃	0.01	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0.01	0
FeO	19.67	20.69	20.47	20.34	20.93	22.19	17.99	17.97	17.79	15.11	18.63	18.4	18.73
MnO	0.45	0.47	0.38	0.5	0.43	0.39	0.49	0.56	0.53	0.51	0.41	0.42	0.46
MgO	0.01	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.02	0.15	0.08
CaO	33.09	32.81	32.63	33	33.05	33.5	32.95	33.09	32.83	33.83	33.74	33.53	33.17
Na ₂ O	0	0.01	0.01	0	0	0.02	0.03	0.07	0.02	0	0.04	0.02	0
K ₂ O	0	0.02	0	0	0	0	0.01	0.03	0.02	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0.01	0	0.04	0.03	0.03	0.01	0	0.01	0	0.03	0	0.01	0.05
Total	99.08	97.23	97.36	98.67	98.54	99.57	98.1	98.85	97.85	99.01	98.42	99.08	98.19
Si	3.01	2.99	3.01	2.99	2.98	2.99	2.99	2.98	3.01	2.99	3	3	3
Ti	0.01	0	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0	0.01	0	0	0.02
Al	0.77	0.65	0.67	0.72	0.67	0.59	0.88	0.92	0.9	1.09	0.79	0.85	0.8
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ³⁺	1.22	1.35	1.32	1.28	1.33	1.41	1.11	1.09	1.1	0.91	1.21	1.15	1.19
Fe ²⁺	0.1	0.08	0.09	0.1	0.09	0.08	0.1	0.12	0.11	0.09	0.05	0.08	0.07
Mn	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Mg	0	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0.02	0.01
Ca	2.84	2.89	2.87	2.86	2.87	2.89	2.85	2.84	2.84	2.88	2.92	2.87	2.87
Ura	0.03	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0.02	0
And	61.22	67.25	66.28	63.76	66.54	70.36	55.88	54.22	55.05	45.68	60.32	57.47	60.03
Gro	34.2	28.75	29.81	31.57	29.29	25.83	39.5	40.42	40.06	49.98	36.95	38.28	36.22
Pyr	0.05	0.18	0.16	0.18	0.19	0.1	0.1	0.14	0.13	0.26	0.08	0.58	0.3
Spe	1.02	1.09	0.89	1.13	0.99	0.89	1.12	1.26	1.22	1.14	0.94	0.96	1.06
Alm	3.48	2.52	2.86	3.35	2.99	2.82	3.39	3.96	3.54	2.9	1.71	2.7	2.39

续表2

分析项目	YMS14-1-1	YMS14-1-2	YMS14-1-3	YMS16-2-1	YMS16-2-2	YMS16-2-3	YMS17-1-1	YMS17-1-2	YMS20-7-1	YMS20-7-2	YMS20-7-3	YMS20-7-4
SiO ₂	36.11	36.73	36.62	37.46	37.21	37.1	37.06	37.11	36.54	37.34	35.89	37.24
TiO ₂	0.23	0.13	0.22	0.31	0.08	0.08	0.06	0.26	0	0.03	0.04	0.23
Al ₂ O ₃	6.49	6.97	8.25	10.11	8.61	7.69	8.61	8.29	0.04	9.3	0	8.8
Cr ₂ O ₃	0.02	0.06	0.1	0.04	0.07	0	0	0.01	0	0.03	0	0
FeO	20.44	20.61	18.78	17.02	19.5	20.56	19.35	19.6	28.05	17.75	28.73	18.2
MnO	0.39	0.34	0.44	0.63	0.57	0.55	0.59	0.47	0.3	0.53	0.4	0.49
MgO	0.14	0.1	0.09	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0	0.08	0.13	0.1
CaO	33.07	33.4	32.93	32.92	32.7	32.61	32.88	33.18	32.18	32.52	31.28	32.76
Na ₂ O	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.05	0.01
K ₂ O	0	0.02	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0.02
P ₂ O ₅	0.03	0.01	0	0	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0	0.01	0.02
Total	96.93	98.37	97.47	98.63	98.89	98.68	98.68	99.02	97.77	98.55	96.73	99.2
Si	2.98	2.98	2.99	3	2.99	3	2.99	2.98	3.07	3.02	3.04	3.01
Ti	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0.02	0	0	0	0.01
Al	0.63	0.67	0.79	0.95	0.82	0.73	0.82	0.79	0	0.89	0	0.84
Cr	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ³⁺	1.37	1.33	1.2	1.03	1.18	1.27	1.19	1.21	1.95	1.09	1.97	1.14
Fe ²⁺	0.04	0.07	0.08	0.11	0.13	0.12	0.12	0.1	0.02	0.11	0.07	0.09
Mn	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03
Mg	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.02	0.01
Ca	2.92	2.91	2.88	2.82	2.82	2.82	2.84	2.86	2.89	2.82	2.84	2.84
Ura	0.07	0.19	0.33	0.14	0.22	0	0	0.02	0	0.11	0	0
And	68.46	66.54	60.01	51.94	58.96	63.34	59.19	60.7	99.8	55.16	100	57.67
Gro	28.74	29.93	35.56	42.49	34.79	30.92	35.28	34.53	0	39.55	0	37.82
Pyr	0.56	0.38	0.38	0.45	0.31	0.32	0.27	0.24	0	0.34	0.53	0.41
Spe	0.9	0.77	1.02	1.44	1.3	1.25	1.34	1.07	0.73	1.23	0.97	1.13
Alm	1.27	2.19	2.7	3.54	4.42	4.17	3.92	3.44	0.6	3.61	2.29	2.97

注:石榴石环带成分表中,编号前两位数字相同的代表同一颗石榴石,第3位数字由小到代表石榴石由中心到边缘。

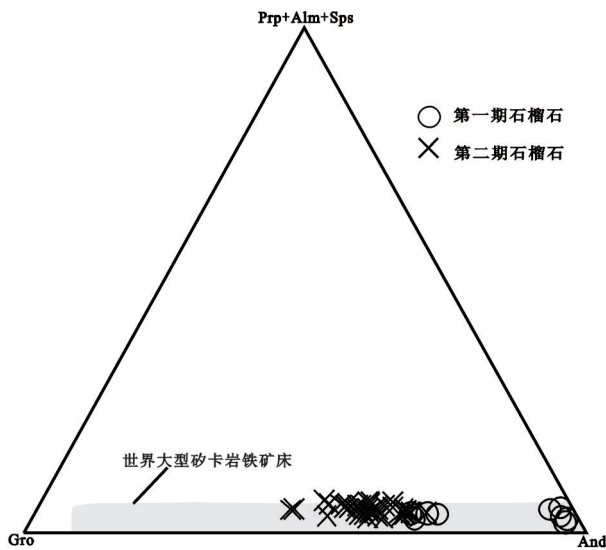


图4 雅满苏铁矿石榴石端员组分三角图解

Aad—钙铁榴石; Gro—钙铝榴石; Alm—铁铝榴石;
Sps—锰铝榴石; Prp—镁铝榴石

Fig.4 Triangular diagram of garnet compositions in the Yamansu iron deposit

Aad—Andradite; Gro—Grossularite; Alm—Almandine;
Sps—Spessartine; Prp—Pyrope

成交代矽卡岩。特别是火山岩与灰岩接触带附近,交代作用强烈,并形成具有一定规模的铁矿体(图2)。

4.2 铁矿床成因

雅满苏铁矿床产于石炭系基性-中性-酸性火山-沉积地层中,近矿围岩及矿石中发育大量矽卡岩矿物,矿体与矽卡岩密切共生,显然铁矿的形成与矽卡岩化过程有密切关系。

雅满苏铁矿石中磁铁矿的(Ca+Al+Mn)-(Ti+V)图解中(图6),大部分样品落入矽卡岩型铁矿的区域,反映了大多数样品经过了一个热液交代作用过程,同时也暗示矽卡岩化对成矿的贡献。在磁铁矿的TiO₂-Al₂O₃-MgO成因图解(图7)中,大部分早期磁铁矿分布在中基性岩浆趋势区,部分落入沉积变质-接触交代磁铁矿趋势区,表明岩浆作用对成矿的影响。晚期磁铁矿都分布在沉积变质-接触交代区,说明晚期热液交代作用对成矿的贡献。

一般认为矽卡岩由酸性-中酸性花岗质岩体与碳酸盐岩以及富钙镁质的碎屑岩接触交代作用而

形成,接触带广泛发育矽卡岩,矽卡岩与大量金属堆积成矿密切相关^[24,36-37]。雅满苏铁矿矿体呈层状、似层状、透镜状赋存于下石炭统雅满苏组安山质火山岩-沉积地层中,矿体及其周围发育大量的矽卡岩矿物,但铁矿体与矽卡岩并不是沿岩体接触带分布。这与典型的接触交代矽卡岩型铁矿有一定差异,而与新疆阿尔泰山地区蒙库铁矿^[38]、乌吐布拉克铁矿^[21]、西天山查岗诺尔铁矿矽卡岩阶段矿化^[39]以及东天山红云滩铁矿^[40]的地质特征相似,均产于明显受构造控制的矽卡岩带内,而矽卡岩矿物的化学组成和中国一些交代矽卡岩型矿床中的钙矽卡岩^[37]基本相同。雅满苏铁矿石石榴石矽卡岩等近矿围岩及部分磁铁矿的稀土元素特征研究表明,磁铁矿与矽卡岩及赋矿地层中的火山岩具有一定的成因联系^①。本文认为矿床中的矽卡岩是由岩浆热液流体交代雅满苏组基性-中性火山岩(火山角砾岩和安山质凝灰岩)及灰岩所形成。

岩相学观察以及电子探针分析表明,雅满苏铁矿早期蚀变以钠钙质蚀变为主,形成钠长石+石榴石+透辉石的矿物组合,可能为富钠质含矿热液作用于火山岩围岩,改造火山岩形成,伴有铁质的交代,磁铁矿呈他形粒状充填于透辉石颗粒之间,形成浸染状矿体。随着成矿流体的演化,温度逐渐降低,钾含量和水分增高,出现了矽卡岩的退化蚀变作用,形成钾长石+阳起石+绿帘石为主的钾钙质蚀变矿物组合,同时导致铁元素大量沉淀,形成了块状矿体,也是雅满苏磁铁矿的主要成矿阶段。到了碳酸盐-硫化物阶段温度持续降低,氧逸度不断下降,受到不同成分热液的影响,形成了大量的金属硫化物及方解石。

由上述可知,雅满苏铁矿为产于海相火山岩中的交代矽卡岩型矿床,成矿热液可能主要来源于岩浆。在岩浆演化晚期或岩浆期后,含矿热液沿断裂构造上升,在火山岩与灰岩的接触带附近发生交代作用,形成矽卡岩及磁铁矿体。

5 结论

(1)雅满苏铁矿床赋存于下石炭统雅满苏组上亚组的海相火山-沉积岩中,近矿围岩矽卡岩化强

①曾红,柴凤梅,周刚,等.东天山雅满苏铁矿床稀土元素地球化学示踪[J].新疆地质,2014.

表3 雅满苏铁矿磁铁矿电子探针分析结果(%)
Table 3 Electron microprobe analyses (%) of representative magnetite from the Yamansu iron deposit

分类	点号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TFeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	NiO	V ₂ O ₅	Total
稀硫酸浸	YMS12-6-1-2	0	0.128	0.003	0.141	93.978	0.122	0.01	0	0.069	0.003	0	0.035	0	94.489
	YMS12-8-3-1	0.134	0	0.004	0.058	92.884	0.067	0.037	0.094	0.038	0	0	0.036	0	93.352
染状磁	YMS12-8-4-1	0.097	0.06	0	0.055	88.81	0.136	0	0.238	0	0	0.01	0.002	0	89.408
	YMS12-9-1-2	0.001	0	0.038	0	94.767	0.185	0.009	0.129	0.098	0.01	0.01	0.001	0	95.248
铁矿石	YMS12-26-3-1	0.062	0	0.113	0.015	93.061	0.041	0.013	0	0.073	0.007	0	0.024	0	93.385
	YMS12-22-1-2	0.262	0.08	0.154	0.055	93.109	0.01	0.036	0	0.04	0.019	0	0	0	93.765
磁铁矿	YMS12-22-1-1	0.107	0.044	0.128	0	92.92	0.056	0	0.018	0.068	0	0.006	0	0	93.47
	YMS12-22-1-2-1	0.134	0.058	0.132	0	91.658	0	0.019	0	0.051	0.003	0	0	0.012	92.143
石	YMS12-23-3-1	0.148	0	0.058	0.058	93.14	0.01	0.036	0.077	0	0	0	0	0	93.527
	YMS12-18-3-1	2.288	0.104	0.619	0	89.894	0.026	0.366	0.816	0.09	0.023	0.016	0	0	94.242
块状磁	YMS12-19-3-2	2.277	0.078	0.529	0.056	91.486	0.048	0.227	0.75	0.061	0.057	0.039	0	0	95.608
	YMS12-20-2-1	1.751	0.002	0.497	0.033	89.579	0.055	0.12	0.562	0.077	0.045	0.003	0.002	0	92.724
铁矿石	YMS12-20-5-1	1.18	0.018	0.501	0	88.382	0.022	0.086	0.719	0.089	0.039	0.003	0	0.036	91.175
	YMS12-20-5-2	1.391	0	0.074	0.048	89.528	0.054	0.078	0.667	0.266	0.04	0	0.031	0	92.254
铁矿石	YMS12-20-6-1	1.139	0	0.312	0.014	90.198	0.067	0.079	0.324	0.116	0.024	0.011	0.011	0	92.411
	YMS12-25-3-1	0.167	0.026	0.145	0.069	92.83	0.048	0.037	0	0.055	0	0	0.038	0	93.377
铁矿石	YMS12-25-1-1	0.201	0	0.22	0.007	93.04	0.073	0.009	0	0.227	0.055	0.01	0	0	93.842
	YMS12-25-2-1	3.255	0.122	0.346	0.011	90.054	0.022	0.544	1.193	0.076	0.026	0	0.076	0	95.649
铁矿石	YMS12-28-1-1	0.9	0.01	0.256	0.011	92.469	0.041	0.157	0.252	0.025	0.04	0.021	0	0	94.182
	YMS12-21-1-1	2.369	0.075	0.386	0.074	89.077	0.056	0.413	0.887	0.093	0.025	0	0	0	93.455
稠密浸	YMS12-21-4-1	0.654	0.011	0.21	0.127	91.713	0.116	0.028	0.064	0.622	0.004	0	0	0	93.549
	YMS12-24-1-1	0.03	0	0.011	0	93.221	0.039	0	0	0	0	0	0	0	93.301
染状磁	YMS12-24-1-1-1	0.016	0	0.001	0.037	93.073	0.038	0	0	0.125	0.012	0.008	0	0	93.427
	YMS12-24-1-3	0.661	0.025	3.889	3.228	79.074	0.047	0.122	0.037	1.313	0.035	0	0.016	0	88.495
铁矿石	YMS12-24-2-1-1	1.865	0.028	0.511	0.034	88.009	0.091	0.362	1.197	0.139	0.035	0.009	0.039	0	92.415
	YMS12-24-2-2-1	1.264	0.097	0.646	0.271	87.541	0.116	0.15	0.964	0.152	0.031	0	0.036	0.026	91.399
铁矿石	YMS12-24-2-1	0.162	0.055	0.174	0.109	93.101	0.119	0	0	1.065	0.009	0	0	0	94.794
	YMS12-24-1-2	0.082	0.042	0.087	0	93.272	0.109	0.016	0	0.033	0.003	0	0	0.01	93.778
铁矿石	YMS12-29-1-1-1	0.093	0.256	0.21	0.007	89.791	0	0	0	0	0	0.014	0	0.036	90.514
	YMS12-29-1-1	1.469	0.027	0.266	0.037	92.432	0.101	0.229	0.638	0.065	0.01	0	0	0	95.274
铁矿石	YMS12-29-1-2	0.12	0.368	0.208	0	89.559	0.01	0	0	0	0.003	0	0	0	90.268
	YMS12-29-2-1-1	0.514	0.047	0.299	0.037	92.006	0.031	0.104	0.094	0.066	0.021	0	0	0.016	93.32

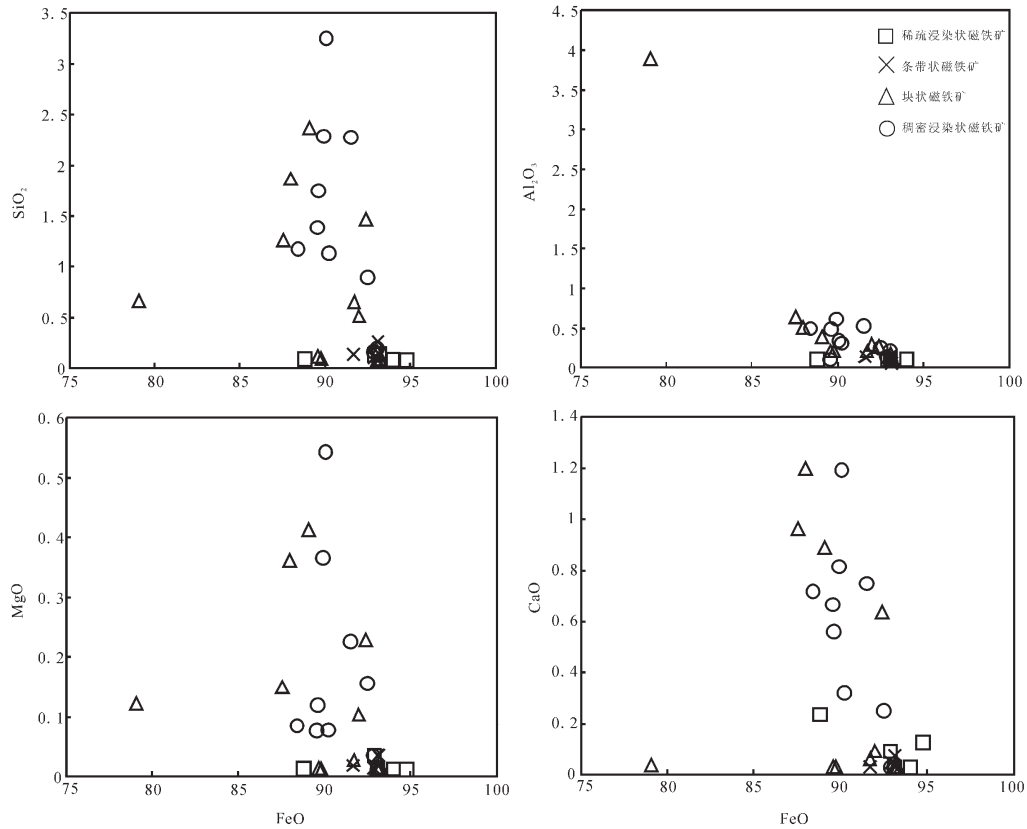


图5 雅满苏铁矿床磁铁矿中氧化物相关图解
Fig.5 Oxides relationship diagram of magnetite from the Yamansu iron deposit

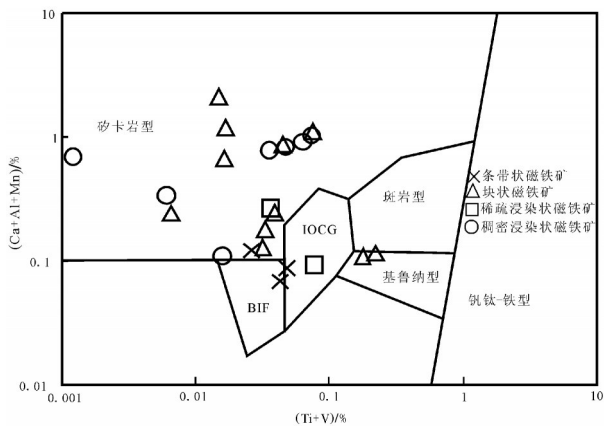


图6 雅满苏铁氧化物成分的Ca+Al+Mn-Ti+V图解
Fig.6 Fe oxides from the Yamansu iron ore deposit

烈,形成石榴石砂卡岩及复杂砂卡岩。石榴石端员组分以钙铁榴石-钙铝榴石系列为主,这表明雅满苏铁矿砂卡岩为交代砂卡岩中的钙砂卡岩。

(2)雅满苏铁矿中大部分的磁铁矿具交代成因特征,表明雅满苏铁矿的形成与岩浆热液交代作用

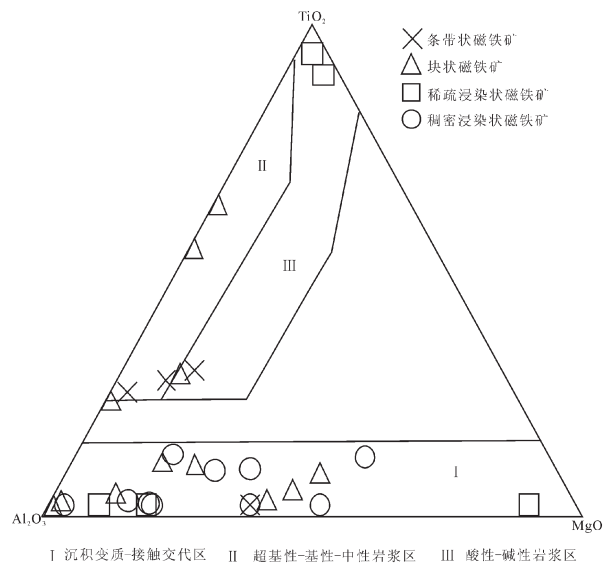


图7 雅满苏铁矿磁铁矿 TiO₂-Al₂O₃-MgO成因图解
(据文献[24]修改)
Fig.7 Triangular diagram of TiO₂-Al₂O₃-MgO of magnetite from the Yamansu iron deposit (modified after Chen Guangyuan,1987)

有关。

(3)雅满苏铁矿为产于海相火山岩中的交代砂卡岩型矿床,与岩浆活动有关的含矿热液沿断裂构造上升,在火山岩与灰岩的接触带附近发生交代作用,形成砂卡岩及磁铁矿体。

致谢:野外工作得到了宝钢集团八钢公司新疆钢铁雅满苏矿业有限责任公司雅满苏矿山相关工作人员的大力支持,室内测试分析受到了中国地质科学院矿产资源研究所相关工作人员的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 李春昱,王荃,刘雪亚. 中国内生矿床与板块构造[J]. 地质学报, 1981, 55(3): 1-7.
Li Chunyu, Wang Quan, Liu Xueya. The metallogeny and plate-tectonics of china[J]. Acta Geologica Sinica, 1981, 55(3): 1-7(in Chinese).
- [2] 左国朝,何国琦. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 6-167.
Zuo Guochao, He Guoqi. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan, China[M]. Beijing: Peking University Press, 1990: 6-167(in Chinese).
- [3] 周济元,张斌,张朝文,等. 东天山古大陆及其边缘银,铼,铜,金和铜矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-191.
Zhou Jiuyuan, Zhang Bin, Zhang Chaowen, et al. Mineral Deposits of Ancient Continent in East Tianshan and the Silver, Molybdenum Rhenium, Gold and Copper of its Edge[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-191(in Chinese).
- [4] Windley B F, Allen M B, Zhang C, et al. Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tianshan range central Asia[J]. Geology, 1990, 18: 128-131.
- [5] 肖序常,汤耀庆,冯益民,等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. Tectonics in the North Xinjiang and its Adjacent Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992(in Chinese).
- [6] 方国庆. 东天山古生代板块构造特点及其演化模式[J]. 甘肃地质学报, 1994, 3(1): 34-40.
Fang Guoqing. Paleozoic plate tectonics of Eastern Tianshan Mountains Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Gansu, 1994, 3(1): 34-40(in Chinese with English abstract).
- [7] 马瑞士,舒良树,孙家齐. 东天山构造演化与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
Ma Ruishi, Shu Liangshu, Sun Jiaqi. The Tectonic Deformation, Evolution and Metallization in the Eastern Tianshan Belt, Northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997 (in Chinese).
- [8] Xiao W J, Zhang L C, Qin K Z, et al. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the eastern Tianshan (China): implications for the continental growth of Central Asia[J]. American Journal of Science, 2004, 304: 370-395.
- [9] 王京彬,王玉往,何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 461-469.
Wang Jingbin, Wang Yuwang, He Zhijun. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountain, NW China[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 461-469(in Chinese with English abstract).
- [10] 王玉往,王京彬,王莉娟,等. 新疆尾亚钒钛磁铁矿——一个岩浆分异-贯入-热液型复成因矿床[J]. 矿床地质, 2005, 24(4): 3449-3460.
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Weiya vanadium-bearing titanite magnetite deposit in Xinjiang: A polygenetic magmatic differentiation-magmatic injection-magmatic hydrothermal deposit[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(4): 3449-3460(in Chinese with English abstract).
- [11] 江思宏,聂凤军,胡朋,等. 北山地区岩浆活动与金矿成矿作用关系探讨[J]. 矿床地质, 2006, 25: 269-272.
Jiang Sihong, Nie Fengjun, Hu Peng, et al. Discussion on the relationship of magmatism and gold metallogeny in Beishan mountain area[J]. Mineral Deposits, 2006, 25: 269-272(in Chinese with English abstract).
- [12] 杨合群,李英,杨建国,等. 北山造山带的基本成矿特征[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 78-85.
Yang Hequn, Li Ying, Yang Jianguo, et al. Main metallogenic characteristics in the Beishan Orogen[J]. Northwestern Geology, 2006, 39(2): 78-85(in Chinese with English abstract).
- [13] 张洪涛,陈仁义,韩芳林. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 150-163.
Zhang Hongtao, Chen Renyi, Han Fanglin. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2): 150-163(in Chinese with English abstract).
- [14] 卢登蓉,姬金生,吕仁生,等. 新疆雅满苏铁矿地球化学特征及矿床成因[J]. 西北地质, 1995, 16(1): 15-19.
Lu Dengrong, Ji Jinsheng, LV Rensheng, et al. The geochemical characteristics and ore deposit genesis of Yamansu iron deposit, Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 1995, 16(1): 15-19(in Chinese with English abstract).
- [15] 王兴保. 雅满苏铁矿床地质特征及成因浅析[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(增刊): 125-128.
Wang Xingbao. Geology characteristics and genesis of Yamansu iron deposits[J]. Contribution to Geology and Mineral Resources Research, 2005, 20(supp.): 125-128(in Chinese).
- [16] 张洪武,谢丽霞. 对雅满苏铁矿床成因的新认识[J]. 长春工程学院报, 2001, (24): 26-29.
Zhang Hongwu, Xie Lixia. New understanding of the Genesis of

- Yamansu iron deposit[J]. Changchun University of Engineering, 2001, (24): 26–29(in Chinese with English abstract).
- [17] 何英. 哈密雅满苏铁矿床地质地球化学特征[J]. 西部探矿工程, 2007, 11: 142–144.
He Ying. Geology and geochemistry characteristics of Yamansu iron deposit Hami[J]. Western Exploration Engineering, 2007, 11: 142–144(in Chinese with English abstract).
- [18] 王志福, 谭治雄, 谭克彬, 等. 新疆哈密市雅满苏铁矿地质特征及成矿模式研究[J]. 西部探矿工程, 2012, 10: 177–180.
Wang Zhifu, Tan Zhixiong, Tan Kebin, et al. Geological characteristics and metallogenic model research of Yamansu iron deposit, Xinjiang Hami city[J]. Western Exploration Engineering, 2012, 10: 177–180(in Chinese with English abstract).
- [19] Gustafson W I. The stability of andradite, hedenbergite, and related minerals in the system Ca–Fe–Si–O–H[J]. Journal of Petrology, 1974, 15(3): 455–496.
- [20] 赵斌, 李统锦, 李昭平. 矽卡岩形成的物理化学条件实验研究[J]. 地球化学, 1983, (3): 256–268.
Zhao Bin, Lee Tongjin, Li Zhaoping. Physical and chemical conditions of skarn formation of experimental study[J]. Geochemistry, 1983, (3): 256–268(in Chinese with English abstract).
- [21] 张志欣, 杨富全, 罗五仓, 等. 新疆阿尔泰山乌吐布拉克铁矿床矽卡岩矿物特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(2): 276–280.
Zhang Zhixin, Yang Fuquan, Luo Wucang, et al. Skarn mineral characteristics of the Wulubulake iron deposit in Altay, Xinjiang, and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(2): 267–280(in Chinese with English abstract).
- [22] 洪为, 张作衡, 蒋宗胜, 等. 新疆西天山查岗诺尔铁矿床磁铁矿和石榴石微量元素特征对矿床成因的制约[J]. 岩石学报, 2012, 28(7): 2089–2102.
Hong Wei, Zhang Zuoheng, Jiang Zhongsheng, et al. Magnetite and garnet trace element characteristics from the Chaganguoer iron deposit in the western Tianshan Mountains, Xinjiang, NW China constrain for ore genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(7): 2089–2102(in Chinese with English abstract).
- [23] Dupuis C, Beaudoin G. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types[J]. Miner Deposita, 2011, 46: 319–335.
- [24] 陈光远. 成因矿物学与找矿矿物学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1987.
Chen Guangyuan. Genetic and Prospecting Mineralogy[M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1987(in Chinese).
- [25] Meinert L D. A review of skarns that contain gold[C]//Lentz D R. (ed.). Mineralized Intrusion– related Skarn Systems. Mineralogical Association of Canada Short Course Series 26, Quebec, 1998: 359–414.
- [26] Meinert L D, Dipple G M, Nicolescu S. World skarn deposits[J]. Economic Geology, 2005, 100: 299–336.
- [27] 赵一鸣, 张铁男, 林文蔚, 等. 我国矽卡岩矿床中的辉石和似辉石特征及其与金属矿化的关系[J]. 矿床地质, 1997, 16(4): 318–329.
Zhao Yiming, Zhang Yinan, Lin Wenwei, et al. Characteristics of pyroxenes and pyroxenoids in skarn deposits of China and their relationship with metallization[J]. Mineral Deposits, 1997, 16(4): 318–329(in Chinese with English abstract).
- [28] 赵一鸣. 矽卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 113–121.
Zhao Yiming. Skarn new important advances in study of skarn deposits[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(2): 113–121(in Chinese with English abstract).
- [29] Einaudi M T, Meinert L D, Newberry R J. Skarn deposits. In: Economic Geology 75th Anniversary Volume[J]. Littleton: Society of Economic Geologists, 1981, 317–391.
- [30] Xu L G, Mao J W, Yang F Q, et al. Geology geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 39: 423–440.
- [31] 赵斌, 李统锦, 李昭平, 等. 我国一些矽卡岩中石榴石的研究[J]. 矿物学报, 1982, 2(4): 296–304.
Zhao Bin, Li Tongjin, Li Zhaoping, et al. A study on garnets from some skarn deposits in China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1982, 2(4): 296–304(in Chinese with English abstract).
- [32] 赵永鑫. 长江中下游地区接触带铁矿床形成机理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 1–120.
Zhao YongXin. Mechanisms of formation of the contact iron deposits along the Middle lower Reaches of the Yangtze River[M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1992: 1–120(in Chinese).
- [33] 束学福. 安庆夕卡岩型铁铜矿床地质地球化学特征及铁质来源研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(3): 219–224.
Shu Xuefu. Geology and geochemistry characteristics of Anqing skarn– type Fe– Cu deposit and its origin of iron materials[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(3): 219–224(in Chinese with English abstract).
- [34] 朱钟秀, 李旭平. 大兴安岭地区矽卡岩铁石榴石的矿物学研究[J]. 世界地质, 1989, 8(1): 15–19.
Zhu Zhongxiu, Li Xuping. Mineralogical studies of garnet in Skarn type iron deposit of Daxinganling region[J]. Global Geology, 1989, 8(1): 15–19(in Chinese with English abstract).
- [35] Meinert L D. Skarns, skarn deposits[J]. Geosciences Canada, 1992, 19(4): 145–162.
- [36] 程裕淇, 赵一鸣, 林文蔚. 中国铁矿床(中册)[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 386–479.
Cheng Yuqi, Zhao Yiming, Lin Wenwei. Iron Deposit from China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 386–479 (in Chinese).
- [37] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1–23.

- Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, et al. Skarn deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 1–23(in Chinese).
- [38] 杨富全, 毛景文, 徐林刚, 等. 新疆蒙库铁矿床稀土元素地球化学及对铁成矿作用的指示[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2443–2456.
Yang Fuquan, Mao Jinwen, Xu Lingang, et al. REE geochemistry of the Mengku iron deposit, Xinjiang, and its indication for iron mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2443–2456(in Chinese with English abstract)
- [39] 洪为, 张作衡, 赵军, 等. 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, 2012b, 31(2): 191–211.
Hong Wei, Zhang Zuoheng, Zhao Jun, et al. Mineralogy of the Changanuoer iron deposit in Western Tianshan Mountains, Xinjiang, and its geological significance[J]. Acta Petrologica Et Mineralogical, 2012b, 31(2): 191–211(in Chinese with English abstract).
- [40] 张立成, 王义天, 陈雪峰, 等. 东天山红云滩铁矿床矿物学、矿物化学特征及矿床成因探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2013, 32(4): 431–449.
Zhang Licheng, Wang Yitian, Chen Xuefeng, et al. Mineralogy, mineral chemistry and genesis of the Hongyuntan iron deposit. In East Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Et Mineralogical, 2013, 32(4): 431–449(in Chinese with English abstract).

Mineralogy of skarn and magnetite of the Yamansu iron deposit and its geological significance

ZENG Hong¹, CHAI Feng-mei¹, ZHOU Gang², GENG Xin-xia³,
LI Qiang³, MENG Qing-peng⁴, XU Lu-lu¹,

(1. Xinjiang Key Laboratory for Geodynamic Processes and Metallogenic Prognosis of the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi, Xinjiang 830000; 3. MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037; 4. Xinjiang Mineral Experiment Research Institute Urumuqi 830000)

Abstract: Located in the middle of Eastern Tianshan Mountains, the large-size Yamansu iron deposit is hosted in Andesitic volcanic clastic rock or andesitic tuff of the Lower Carboniferous Yamansu Formation, with a lenticular marble beneath the main ore body. The ore bodies occur as lamellar stratoids and lenses, controlled by EW-striking faults and circular faults. Wall rock alteration is strong, including garnet skarn and complex skarn. Electron microprobe analyses show that the end member of garnet is andradite (And) with an average content of 63.59%, grossularite (Gro) with an average content of 34.11%, almandite (Alm) and spessartine (Sps) with an average content of 4.44%. Components of garnet and pyroxene are $And_{45.68-100}Gro_{0.67-57.95}(Alm + Sps)_{11-29.03}$, which indicates that characteristics of this skarn minerals are quite similar to those in calcic skarn from the major large iron deposits, suggesting that they probably resulted from skarnization; In the Ca + Al + Mn versus Ti + V discriminant diagram showing spot analyses of magnetite and hematite, almost all data from the Yamansu ore deposit fall into the region of the skarn type iron deposit. In addition, in the ternary plot of $TiO_2-Al_2O_3-MgO$ of magnetite, many data from the Yamansu ore deposit tend to be seated in the sedimentary metamorphogenic and contact metasomatic region while less data drop into magmatic mafic-ultramafic region. These two diagrams may suggest that the formation mechanism of magnetite from this ore deposit may be similar to that of magnetite from skarn iron deposits. Combining the geological characteristics with the study of mineralogy, the authors hold that most samples through a process of hydrothermal metasomatism, it indicates that iron formation was related to magmatic hydrothermal metasomatism.

Key words: Yamansu iron deposit; electron microprobe analysis; skarn mineral; magnetite

About the first author: ZENG Hong, female, born in 1988, master, majors in mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: helenzenghong@163.com.

About the corresponding author: ZHOU Gang, male, born in 1966, professor level senior engineer, majors in mineral exploration, technology management and research work; E-mail: xazhougang@126.com.