

文章编号: 0258-7106 (2006) 03-0231-12

内蒙古阿右旗卡休他他铁(金、钴)矿床地质 地球化学特征^{*}

许东青¹, 江思宏², 张建华², 胡 朋², 赵永发¹, 王曰诚¹, 赖新荣²

(1 庆华集团阿拉善矿业科技有限公司阿右旗铁矿, 内蒙古 阿拉善 737300; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 文章较为全面地总结了卡休他他铁(金、钴)矿床的地质特征, 并通过元素地球化学分析, 探讨了该矿床的成矿作用与形成规律。卡休他他中型铁矿床由南、北 2 个矿带组成, 共圈定 24 个铁矿体, 其中以北矿带的 3 号矿体规模最大, 其长约 1 300 m, 厚 12.9 ~ 57 m, 斜深近 200 m。铁矿体的产出严格受辉长岩与震旦系浅变质岩接触带附近的矽卡岩控制。钴矿体在南、北矿带铁矿体和矿体外围的矽卡岩带中均有产出, 金矿体则全部产于北矿带矽卡岩带中, 金和钴矿体在空间产出上与绝大多数铁矿体并不一致, 它们主要与金属硫化物具有密切的成因关系, 因此它们的形成可能晚于磁铁矿。元素地球化学分析结果表明, 矿区内南、北矿带总体上是同一期成矿作用的产物, 它们的少数成矿元素含量和矿石磁性之间的差别, 可能与南矿带曾遭受后期二长岩侵入活动的影响, 造成了部分成矿元素(如 Au、Cu 等)的活化迁移有关。卡休他他铁、金和钴矿的形成可能是同一成矿事件中不同阶段的产物, 磁铁矿体属于早期岩浆气液阶段接触交代产物, 而钴和金的富集则可能是稍后的中高温热液阶段的产物。因此, 卡休他他铁矿床属于接触交代型或矽卡岩型。

关键词 地质学; 铁矿; 矽卡岩; 矿床地质; 卡休他他; 阿拉善右旗; 内蒙古
中图分类号: P618.31 **文献标识码**: A

Geological and geochemical features of Kaxiutata iron (gold, cobalt) deposit in Alxa Right Banner, Inner Mongolia

XU DongQing¹, JIANG SiHong², ZHANG JianHua², HU Peng², ZHAO YongFa¹, WANG YueCheng¹
and LAI XinRong²

(1 Alxa Right Banner Iron Mine of Alxa Mineral Industry Co. Ltd. Qinghua Group, Alxa 737300, Inner Mongolia, China;
2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Kaxiutata iron deposit is a medium-size magnetite deposit discovered by No.6 Geological Party of Gansu Bureau of Geology in Alxa Youqi of Inner Mongolia in 1970s. It is associated with rich gold and cobalt. The deposit is composed of two mineralized zones, i.e., south and north iron ore zones. So far, twenty-four ore bodies have been outlined, and the No.3 is the largest one, which is 1 300 m long and 12.9 to 57 m wide, with a downdip extension of 200 m. Iron ore bodies all occur within the skarn located near the contact zone between the gabbro and the Sinian epi-metamorphic rocks. The cobalt ore bodies occur not only within iron bodies but also in the skarn outside the iron bodies, while the gold ores are found only in the skarn of the north iron ore zone. Spatially, the gold and cobalt ores are not consistent with most iron ones, and are mainly associated with the sul-

^{*} 本文受国家地质调查项目(200310200001-01)的资助

第一作者简介 许东青, 男, 1963 年生, 工程师, 主要从事矿山地质工作。E-mail: xdq84511@sina.com.cn

收稿日期 2005-11-09; 改回日期 2006-01-20。张绮玲编辑。

fides. All these indicate that the gold and cobalt ores were formed later than the iron ores. Chemical analyses of the ores and wall rocks suggest that the south and north iron ore zones were formed by the same ore-forming process. The differences of Au, Cu and Ni contents between these two iron ore zones might have resulted from the late intrusion of monzonite. It is believed that the iron, gold and cobalt ores in Kaxiutata were formed at different stages of the same ore-forming event, and the magnetite ores are products of the contact metasomatism between the magma and the strata, while the enrichment of the gold and cobalt resulted from the subsequent sulfide deposition at the meso-hypothermal stages. The Kaxiutata iron deposit belongs genetically to the contact metasomatism or skarn type.

Key words: geology, iron deposit, skarn, deposit geology, Kaxiutata, Alxa Youqi, Inner Mongolia

内蒙古阿拉善右旗卡休他他铁(金、钴)矿床是一个以铁为主,伴生金和钴的中型磁铁矿矿床。矿区中心地理坐标为东经 $101^{\circ}36'24''$, 北纬 $39^{\circ}34'24''$, 属内蒙古阿拉善右旗乌素图苏木管辖,距离阿右旗首府 40 km。该矿床现为内蒙古大型民营企业庆华集团所拥有,年采矿石量为 100 万吨。

卡休他他铁矿床是在对 M51 航测异常(1967 年)检查的基础上发现的。1969~1977 年甘肃地质局第六地质队对卡休他他铁矿床北矿带(C3-C4 异常)进行钻探,查明为一中型铁矿床并伴生有 Co、Au 富集体^①;1977~1978 年该队又对南矿带(C1-C2 异常)进行钻探,并对北矿段的东延地段及主矿体深部进行远景控制^②;1989~1991 年西北地质局二一二大队对矿区金的赋存进行勘查^③。经过前后几次工作,探明卡休他他铁矿床共有储量 333+334 级铁矿石量 2182 万吨,平均 TFe(全铁)品位 36.05%;Co 金属量 2180 t(伴生),平均品位 0.01%,其中富矿体 378.43 t,平均品位 0.04%;Au 金属量 3.24 t,金品位 3.08~12.88 g/t,平均 6.26 g/t;Ga 金属量 10^6 t,品位为 $(5\sim 20)\times 10^{-6}$,平均值 8×10^{-6} 。本文根据前人的勘探成果和近年来的矿山采矿实践,在认真总结该铁(金、钴)矿床地质特征的基础上,对矿区内的矿石及其围岩进行了较为系统的元素地球化学分析,初步探讨了该矿床的成因,旨在为该区寻找类似的铁矿床提供理论依据。

1 区域地质概况

卡休他他铁(金、钴)矿床大地构造位置位于华

北地台阿拉善地块西南缘的北大山隆起带(内蒙古地质矿产局,1991)。区域上出露的地层主要有前震旦纪片麻岩、斜长角闪岩和混合岩等中高级变质岩系,这些岩石构成了本区的结晶基底,而震旦纪的浅变质碎屑岩、二叠纪—晚三叠世的火山碎屑岩和白垩纪的陆相碎屑沉积岩等则为盖层沉积岩(甘肃省地质局地质力学区域测量队,1977)^④。区域岩浆活动十分强烈,其侵入活动时间主要集中在吕梁早期、加里东晚期、海西中期和海西晚期,岩性从超基性岩到酸性岩均可见到,主要岩石类型有辉橄岩、辉长岩、闪长岩、二长岩和钾长花岗岩等,其中海西中期辉长岩体的侵入导致了卡休他他中型铁(金、钴)矿床的形成。

区域主要褶皱及其伴生的断裂方向为近东西向,次为北西向和北东向,卡休他他铁矿就位于近东西走向的库和乌拉复式背斜的北翼。

2 矿区地质特征

2.1 地层

区内出露的地层主要为第四系风成砂(图 1)。在矿区南部零星出露的地层主要为震旦系,岩性以黑云石英千枚岩为主,夹大理岩透镜体。这些大理岩透镜体规模小,一般厚度约 0.1~0.5 m,长 10 m 左右。地层中常见有变辉长岩、角闪石英二长岩、角闪石英正长岩、超基性岩等岩体(岩脉)穿插,将其切割成零散小块,使其呈捕虏体产出。由于海西中期辉长岩的侵入,使该地层产生不同程度的接触变质作用,由接触带向外依次产出有矽卡岩、角岩化千枚岩及角岩 3 个变质晕带,并与成矿关系密切。

① 甘肃省地质局第六地质队,1971. 甘肃省阿拉善右旗卡休他他 M-51 铁矿地质勘探报告(内部资料)。

② 甘肃省地质局第六地质队,1979. 甘肃省阿拉善右旗卡休他他 M-51 铁矿补充勘探报告(内部资料)。

③ 西北地质勘探局二一二大队,1991. 内蒙古自治区阿拉善右旗巴温苏木卡休他他金矿床普查地质报告(内部资料)。

④ 甘肃省地质局地质力学区域测量队,1977. 中华人民共和国区域地质调查报告,努尔盖公社幅(1:200000),1~139。

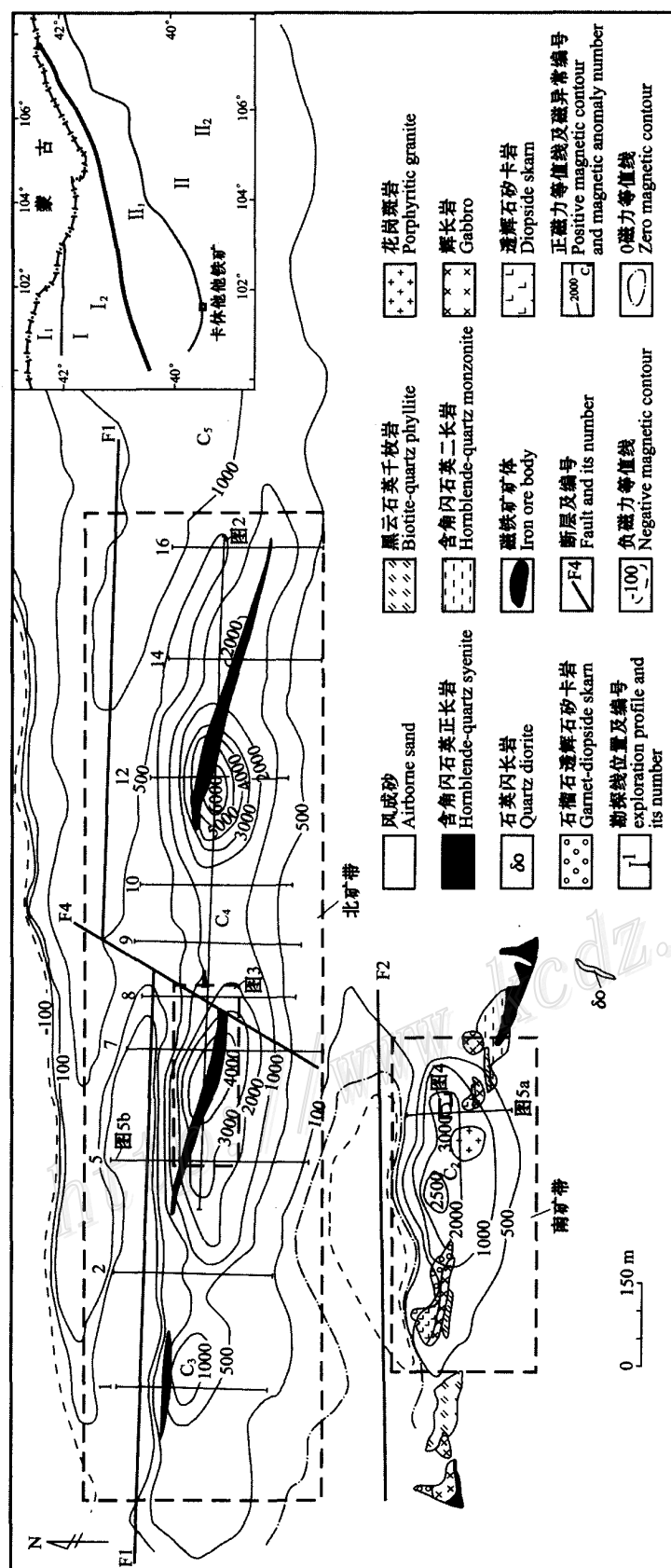


图 1 卡休他他铁矿区地质及磁力等值线简图

(根据甘肃省地质局第六地质队, 1971 资料改编)

I—塔里木地台; I₁—雅干被动陆缘; I₂¹⁻¹—珠斯楞—杭乌拉被动陆缘; II—华北地台; II₁—宗乃山—沙拉扎山被动陆缘; II₂—阿拉善地块

Fig. 1 Simplified geological and magnetic contour map of the Kaxiutata iron deposit (modified from No. 6 geological Party of Gansu Bureau of Geology, 1971)

I₁—Tarim platform; I₂—Yagan passive continental margin; I₃—Zhusileng-Hangwula passive continental margin; II₁—North China platform; II₂—Zongnaishan-Shelazhashan passive continental margin; II₃—Akla block

2.2 构造

矿区内主要构造为近东西向断裂破碎带(图1中的F1和F2),次为NE向、NW向断裂。EW向断裂带生成最早,活动时间最长。早期活动充填有辉长岩、石英闪长岩及各种呈EW向展布的脉岩带,在有利地段形成宽大的矽卡岩带,为矿床主要容矿构造,依次充填有磁铁矿和硫砷化物等。EW向构造的多期活动在该区形成规模较大的构造-岩浆-矽卡岩带,东西延伸长达4 km,总体产状南倾,倾角 $60 \sim 75^\circ$ 。

根据原地质填图及近年来矿区生产揭露,矿区还产出有NE向和NW向2组断裂。一组以F4为代表,展布于7~9勘探线间,隐伏于第四系覆盖之下,走向NE,倾向SE,倾角 76° ,为走向平移正断层,

分别见于北3号井1200 m水平探矿工程及8勘探线ZK36、ZK37孔,断层破碎带宽3~5 m,断层面光滑并有擦痕存在,上、下盘分别有0.5~1 m厚的糜棱岩,矿物呈定向排列,中间夹有角砾岩,厚度1.5~3.25 m,角砾成分均由矽卡岩、角岩和磁铁矿组成,角砾直径0.1~4 cm左右,棱角至半棱角状,以岩泥及钙质胶结,较致密。其断裂作用方式表现为在平面上南东盘向北东平推35 m,在纵剖面上南东盘相对下滑56 m,致使3号矿体沿走向在此处出现马鞍形凹陷(见图2)。磁异常在此表现为低缓异常,且异常长轴方向向南扭曲(见图1)。同类性质的断层见于5~7勘探线之间,在1253~1200 m各水平探矿工程中均有表现,位于F4以西200 m左右,造成矿体南北错位达25 m左右(见图3)。

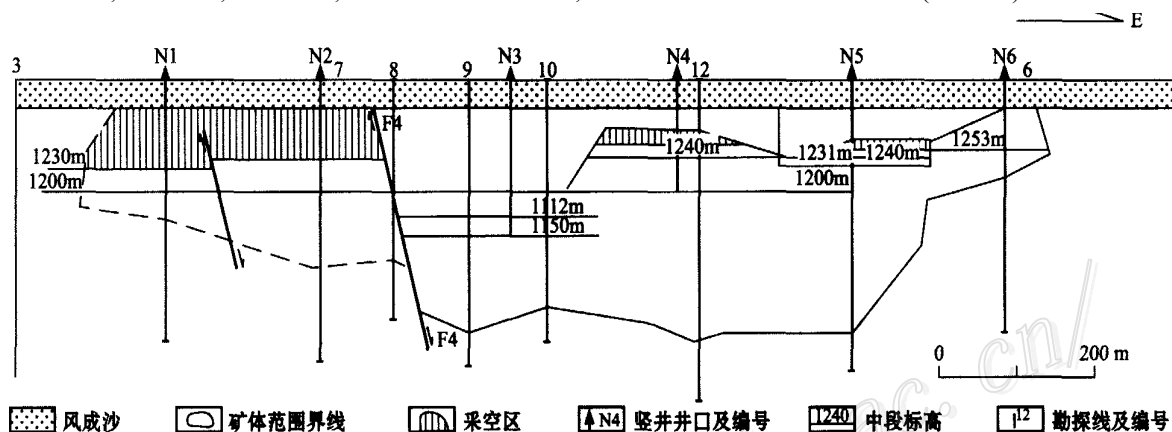


图2 卡休他他铁矿北矿带3号矿体纵剖图

Fig. 2 Longitudinal cross-section of the No. 3 ore body in the north iron ore zone of the Kaxiutata deposit

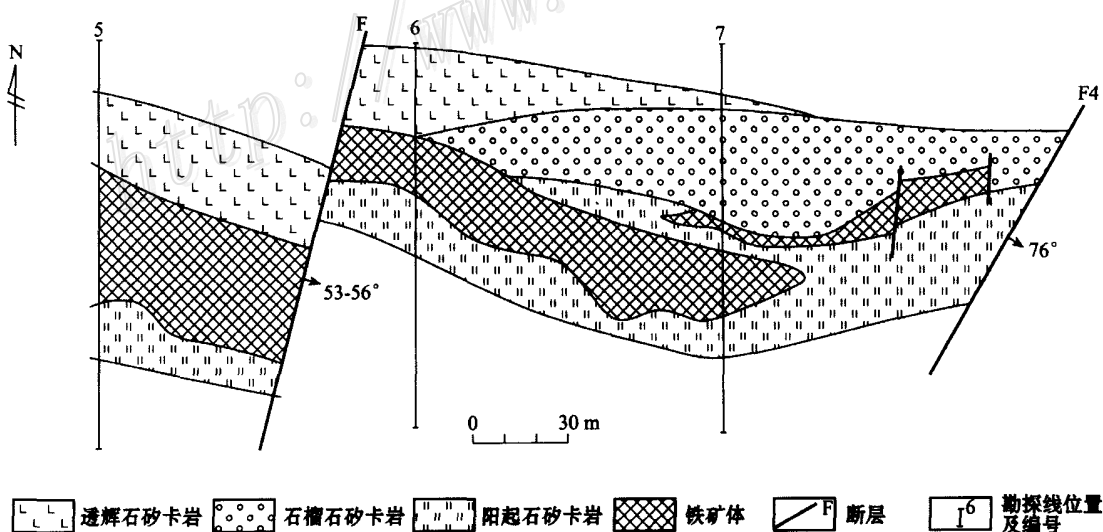


图3 北矿带1200 m水平地质平面图

Fig. 3 Geological map at 1200 m level of the north iron ore zone in the Kaxiutata deposit

另一组 NW 向断裂也为隐伏断裂,属走向平移断层,分别见于北 3 号井 1 150 m 水平 9~10 勘探线之间,及北 4 号井 12 线附近 1 200~1 240 m 水平工程中,走向近似平行,为 NW30~50°,倾向 SW,倾角 65~75°,断裂破碎带宽度 2~5 m,以角砾岩为主,仅在断裂顶底板见有 20~50 cm 厚的断层泥,形成断裂滑面,见有擦痕。角砾成分以矽卡岩、磁铁矿为主,角砾最大可达 5 cm 左右,呈棱角状,以岩泥及钙质胶结,其断裂作用方式与上一组相反,对矿体破坏表现在平面上为断裂上盘矿体向西北方向错动,矿体最大错距 26 m(1 150 m 水平)。

上述 NE 向和 NW 向断裂均属成矿后构造,对磁铁矿体有破坏作用。

2.3 侵入岩

矿区所见的侵入岩主要有海西中期的变辉长岩、辉长岩或辉长辉绿岩和石英闪长岩,以及海西晚期的含角闪石英二长岩和含角闪石英正长岩。另外,在钻孔中还见有超基性岩。其中变辉长岩及石英闪长岩分别在辉长岩和含角闪石英二长岩中呈不大的捕虏体产出。另有灰白色花岗斑岩、细粒花岗岩和石英脉岩等岩脉穿切产出,这些脉岩与成矿无关。

辉长岩是唯一与卡休他他铁(金、钴)矿床成矿有关的侵入岩体,其出露面积约占基岩区的 1/5 左右。岩石呈灰绿色,矿物成分中斜长石含量占 40%~55%,辉石 43%~50%,并含少量钛铁矿(0~8%)、磁铁矿(1%~2%)、磷灰石和榍石等。其中斜长石部分已钠黝帘石化,辉石多被透闪石和阳起石代替。闪石中偶见辉石残晶,中粒变余辉长结构,局部具原生流动构造。辉长辉绿岩与辉长岩系同一岩体的不同岩相,两者无明显的界线。

辉长岩体呈东西向侵入于矿区中部石英千枚岩或黑云母石英片岩内,断续分布,长约 3.8 km,宽 200~300 m,其产状与围岩基本一致,部分地段受后期脉岩破坏,分割成大小不等的块段。

含角闪石英二长岩,灰至灰白色,中粗粒状花岗岩结构,块状构造。矿物成分中钾长石含量约占 40%~50%,斜长石 28%~30%,石英 5%~20%,黑云母 7%~8%,角闪石较少,为 2%~5%。含角闪石英正长岩,灰至灰红色,主要成分以钾长石(57%~75%)、斜长石(10%~20%)为主,石英(10%~20%)和角闪石(3%~7%)次之,磷灰石、榍石和绿帘石微量,与含角闪二长岩为相变关系。两者多以不规则形式侵入辉长岩体以及已形成的磁铁矿体

(见图 4)。在图 4 中,可见矽卡岩化辉绿岩呈捕虏体产于二长岩中,而且二长岩穿切了透辉石矽卡岩和磁铁矿体,并造成铁矿体较为破碎,具有明显的退磁现象。

超基性岩,在钻孔 ZK12、ZK14、ZK17、ZK19 可见,并在 ΔZ 磁异常图上形成强度达 100~1 500 nT,呈 NWW 向展布,宽度 80~470 m 的西窄东宽形似楔形的磁异常带,侵入于辉长岩(南)与含角闪二长岩(北)之间,向东有继续延伸的趋势。岩石呈黄褐色、暗棕色、黄绿色、黑绿色等,中细粒块状,具环网结构,成分以纤维蛇纹石为主,约占 30%~97%,次为橄榄石(2%~40%)、次闪石(1%~25%)、滑石(3%~40%)和方解石(0~56%),及少量磁铁矿(1%~8%)和铬尖晶石(0.2%~1%)。其 SiO_2 含量为 40.6%, Mg/Fe 比值为 10.5,属镁质超基性岩,并且 $\text{Cr}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$,有利于铬的成矿富集。

2.4 矿体产出特征

2.4.1 铁矿体

卡休他他铁(金、钴)矿床由相距 400 m 左右、走向 NWW 近似平行的南、北 2 条矿带组成。其中,北矿带长 1 800 m,宽 80~150 m,矿体基本上与磁异常 $\Delta Z 1000 \text{ nT}$ 等值线范围一致;南矿带长 700 m,宽 70~200 m。北矿带产出铁矿体 16 个,以 3 号矿体为代表。南矿带由 8 个矿体组成,以赋存深度划分为上、下两层矿体。上层矿体赋存标高 1 330~1 160 m,由平行排列的 17、18、19 号矿体组成,以 18 号矿体为代表;下层矿体赋存标高自 1 160~880 m,以 22 号矿体为代表,南、北矿带均南倾,倾角 46~76°,与区域近东西向断裂破碎带产状一致。

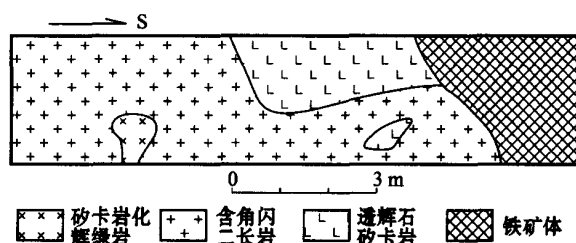


图 4 卡休他他铁矿床南矿带 1 090 m 水平 36 线穿脉素描图。图中所示为含角闪二长岩侵入 22 号铁矿体下盘
Fig. 4 Sketch of the cross vein along No. 36 exploration line at 1 090 m level, in the south ore zone of the Kaxiutata deposit. Amphibole-bearing monzonite intruded the foot wall of No. 22 iron ore body

3 号矿体为北矿带最大矿体,纵贯全区,长 1 300 m,分布于 3~16 线之间,呈透镜状赋存于矽卡岩带中。矿体厚度变化大,最小厚度 12.9 m,最厚处达 57 m(12 线 1 253 m 水平)。矿体厚度变化系数达 21.16%,长与厚度比为(25~100):1,长与斜深比为 7:1。矿体南倾,倾角 81~46°,由东向西倾角逐渐变缓,沿斜深亦为上陡下缓(见图 5),向下变薄趋于尖灭,矿体两端高,中间低,成马鞍状凹陷(见图 2),磁法 ΔZ 异常在此处呈低缓状。

22 号矿体为南矿带最大的矿体,属于盲矿体,呈似层状产于透辉石矽卡岩内,部分地段则与石榴石透辉矽卡岩、黑云母石英片岩或角闪二长岩直接接触(图 5)。原甘肃省地质六队认为该矿体纵贯全矿带,长 770 m,一般厚 14.5~22 m,最厚 29.6 m,最薄 1.5 m,平均 15.4 m。后经庆华公司阿右旗铁矿南矿带 1 090 m 水平地质探矿工程揭露,22 号矿体走向上由西向东由 3 个独立矿体呈串珠状不连续产

出。其中 32 线处矿体呈透镜状产出,长轴方向为 NE 向,长 52 m,宽 29 m;34 线西 40~100 m 处矿体长轴方向变为 NW 向,长 70 m,最大水平厚度 22 m,矿体形态呈囊状,矿体上、下盘均见有含角闪二长岩不规则侵入接触;36 线处矿体长轴方向呈 NE 向,长 95 m,最大水平宽度 26 m,最小 16 m,矿体下盘及矿体中均见有含角闪石英二长岩侵入接触。

总之,南矿带下层矿体普遍受后期含角闪二长岩体的侵入、穿插和分割吞噬,矿体支离破碎。

铁矿石中主要金属矿物为磁铁矿,呈灰至钢灰色,半自形粒状结构,粒径 0.01~0.25 mm。另有少量红砷镍矿、磁黄铁矿、斜方砷钴矿、辉钴矿、镍质辉钴矿、镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、钴毒砂、黄铜矿、黄铁矿等。脉石矿物主要有透辉石、石榴子石和阳起石等。

矿石构造以致密块状、稠密浸染状、浸染状为主,另有条带状、角砾状和块状等构造。

2.4.2 钴矿体

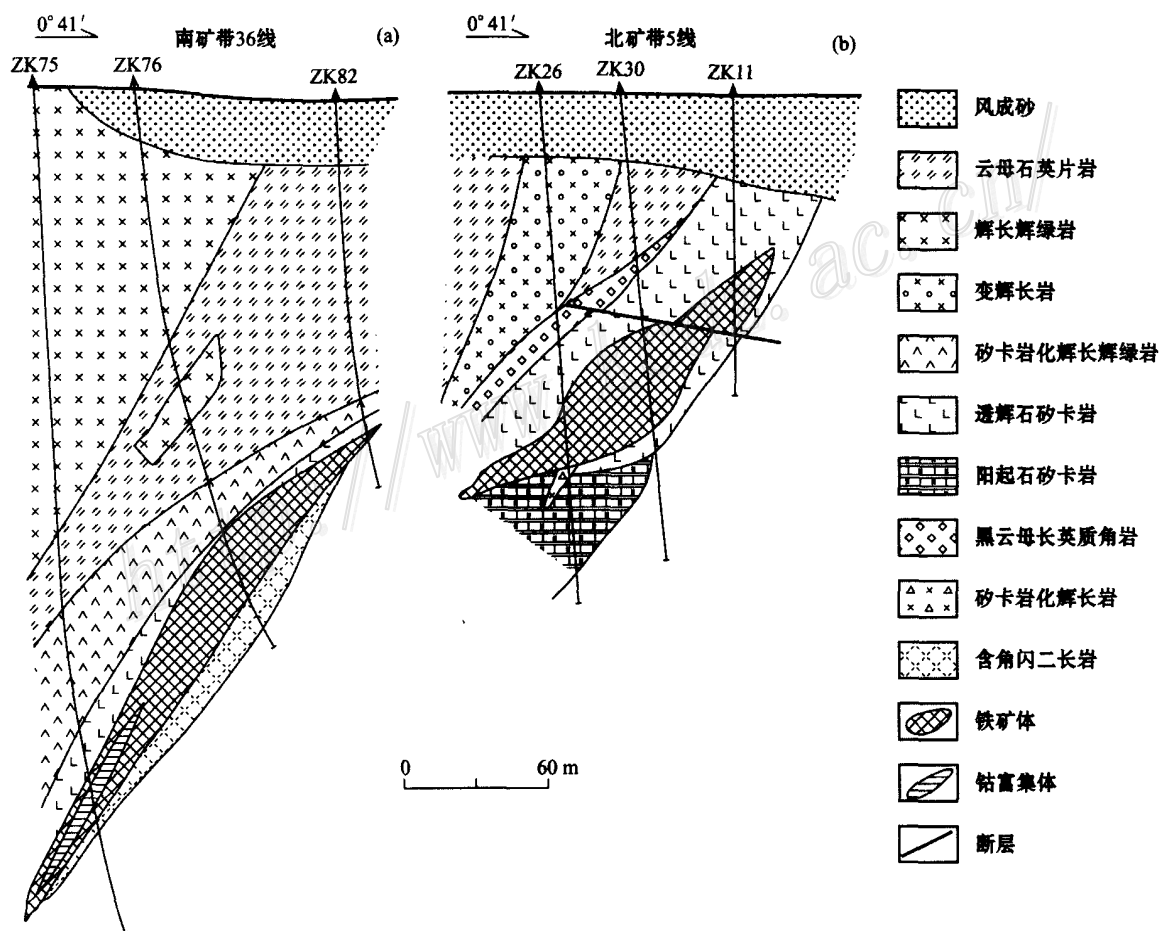


图 5 卡休他他铁矿床南矿带(a)、北矿带(b)地质剖面图

Fig. 5 Cross sections of the south (a) and north (b) ore zones in the Kaxiutata deposit

钴矿体在南、北矿带铁矿体和矿体外围的矽卡岩带中均有产出。在铁矿体中钴以独立富集体(平均含量 0.04%) (图 5a) 或伴生状态出现(平均含量 0.01%)。矿体形态除少数呈透镜体外,多数为小矿条,沿走向及倾向极不稳定,规模小,埋深大,一般长 75 m 左右,最大 150 m,厚度一般为 1~3 m,最厚 8 m,倾斜延伸一般 50~60 m,最大 117 m。在空间分布上,钴富集体多较有规律地成群产出,这可能与次一级的羽状裂隙有关。

钴主要赋存在斜方砷钴矿、辉钴矿、镍质辉钴矿和毒砂中(重量百分比为 78.5%),在其他金属矿物和脉石矿物中很少(共占 13%)。这些单矿物常与黄铁矿、磁黄铁矿、红砷镍矿等金属硫砷化物相伴产出,多以星点状、浸染状、细脉浸染状等叠加于铁矿体及其上、下盘的各种矽卡岩中,尤其在铁矿体的中下部及其下盘的围岩中较多。

2.4.3 金矿体

金矿体均产出于北矿带矽卡岩带中,尤其集中于 3 号矿体上、下盘,分布宽度约 60 m 左右,长约 1 300 m(4~16 线),共发现 29 条矿化体,圈定 11 个金矿体,其中 3 号金矿体较大,走向长度 225 m,平均厚度 2.3 m,最厚达 5.9 m,倾斜延伸 61 m,位于铁矿体下凹部位的底部。

金矿石类型主要有含金磁铁矿型和含金矽卡岩型。金属矿物以磁铁矿为主,次为黄铁矿、毒砂、黄铜矿和磁黄铁矿,含有极少量的自然金、自然铋和辉铋矿等。自然金呈浅金黄色,形态不规则,粒径 0.02~0.05 mm,与自然铋连生,包于毒砂之中。脉石矿物有透辉石、阳起石和石榴子石等。因此,可以判定金矿体形成于铁矿床接触交代成矿作用的硫砷化物阶段,由磁铁矿化后残余的岩浆热液中富含 Bi、As、S、Fe 和 Au 等元素在热动力和挥发分的作用下沿构造薄弱带上升,叠加浸染于矽卡岩及磁铁矿中而成矿。

2.5 矿体围岩蚀变特征

卡休他他铁(金、钴)矿体的产出受海西中期辉长岩与震旦系地层所形成的接触变质带的控制。在空间上,自辉长岩向外依次可以见到矽卡岩带、角岩化千枚岩带(或角岩化矽卡岩)和角岩带,由之构成矿体的蚀变围岩。矽卡岩依产出空间位置分为 2 类:一类产出于辉长岩体与千枚岩外接触带,如北矿带(5~7 线);另一类产出于辉长岩体的内接触带,如南矿带(30~36 线)和北矿带(8~16 线)。

根据矽卡岩中主要矿物成分不同,可将其划分为石榴石矽卡岩、透辉石矽卡岩和阳起石矽卡岩,它们之间无明显的分带特征。矽卡岩带对铁矿床的赋存具有明显的控制作用,而金、钴富矿体也均未超出其范围。

3 元素地球化学特征

3.1 主元素

二长岩(包括含暗色包体的二长岩)的 SiO_2 含量[$w(\text{B})$,下同]为 63.44%~71.67%(表 1); K_2O 含量高,为 6.25%~6.70%,平均值 6.54%; Na_2O 为 3.15%~3.81%,平均值 3.57%; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 9.85%~10.49%,平均值 10.11%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 1.67~2.13, K_2O 的含量显著大于 Na_2O 的含量; A/NKC 值为 0.90~1.00,显示铝略不饱和。在 SiO_2 - K_2O 图解上(图略)所有样品都落入“钾玄岩系列”区。里特曼指数 σ 值为 3.38~5.38,属于碱钙性岩系。

辉长岩的 SiO_2 含量为 48.44%~48.74%(表 1); K_2O 含量为 0.08%~0.21%, Na_2O 为 1.99%~2.11%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 2.07%~2.32%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.04~0.10, Na_2O 含量显著大于 K_2O 含量; A/NKC 值为 0.54~0.66,显示铝不饱和。里特曼指数 σ 值为 0.75~0.99,属于钙性岩系。 m/f 值为 1.10~1.20,属于典型的铁质基性岩(吴利仁,1963)。与中国辉长岩平均值相比,本区的辉长岩具有富 MgO 、 CaO 和贫 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 的特点。

3.2 稀土元素

二长岩的 REE 总量为 $302.34 \times 10^{-6} \sim 705.68 \times 10^{-6}$ (表 2), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 变化于 41.32~56.79,表现为向右倾斜型配分曲线(图 6a),其 HREE 分馏不明显。 δEu 为 0.30~1.01,多数表现为 Eu 亏损。所有样品的稀土配分曲线极为相似(图 6a),暗示它们具有相同的成岩物质来源。

辉长岩的 REE 总量为 $5.65 \times 10^{-6} \sim 9.59 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 变化于 0.31~1.08,配分曲线较为平坦(图 6a),其 LREE 和 HREE 分馏均不明显。 δEu 为 1.58~1.91,表现为 Eu 富集。2 件辉长岩样品的稀土配分曲线极为相似,暗示它们具有相同的成岩物质来源。

矽卡岩:北矿带矽卡岩的稀土元素总量为 $(48.11 \sim 210.15) \times 10^{-6}$,南矿带矽卡岩稀土元素的含量为 $(25.68 \sim 78.43) \times 10^{-6}$,总的来说,北矿带矽

表 1 卡休他他铁(金、钴)矿床主要围岩的岩石化学分析结果($w_B/\%$)

Table 1 Chemical composition of main wall rocks from the Kaxiutata Fe(Au、Co) deposit($w_B/\%$)

	二长岩		含暗色包体二长岩	辉长岩		矽卡岩						
	矿区外围		矿区南矿带	矿区岩芯		矿区北矿带				矿区南矿带		
	B037	B053	KXS03	KXY01	KXY09	KXN03	KXN01	KXN06	KXS01	KXS05	KXS07	KXS09
Na ₂ O	3.74	3.15	3.81	2.11	1.99	0.28	0.40	0.10	2.56	1.52	2.22	3.30
MgO	0.24	0.14	0.62	8.73	10.90	5.06	2.76	4.44	10.02	6.13	6.78	5.49
Al ₂ O ₃	15.53	14.46	16.62	18.45	14.95	11.64	11.88	9.37	12.69	13.11	13.36	24.04
SiO ₂	70.15	71.67	63.44	48.44	48.74	46.14	46.21	41.22	49.51	37.08	45.44	49.08
P ₂ O ₅	0.04	0.02	0.08	0.01	<0.01	0.26	0.04	0.08	0.01	0.06	0.02	0.04
K ₂ O	6.25	6.70	6.68	0.21	0.08	0.19	0.06	0.01	0.69	1.23	1.32	1.79
CaO	1.41	1.18	2.79	13.31	13.39	20.19	21.86	28.47	10.66	12.55	10.75	5.41
TiO ₂	0.26	0.16	0.47	0.31	0.25	0.49	0.51	0.34	0.64	0.44	2.02	0.94
MnO	0.05	0.03	0.10	0.09	0.13	0.49	0.45	0.48	0.18	0.32	0.22	0.12
Fe ₂ O ₃	0.75	0.60	1.82	0.13	1.99	2.94	2.15	8.01	1.98	9.41	3.40	0.84
FeO	1.28	0.98	2.28	5.44	5.73	10.10	12.05	4.71	7.67	15.9	11.33	6.82
H ₂ O ⁺	0.40	0.40	1.80	1.64	1.26	1.72	0.70	1.18	2.31	1.60	2.24	1.14
CO ₂	0.20	0.12	0.18	0.44	0.25	0.36	0.71	1.07	0.66	0.50	0.60	0.30
LOI	0.40	0.47	1.71	1.55	1.00	0.89	0.04	1.77	2.04	0.38	1.70	0.58
总和	100.7	100.08	102.40	100.86	100.66	100.75	99.82	101.25	101.62	100.23	101.40	99.89
A/CNK [*]	1.00	0.99	0.90	0.66	0.54							
K ₂ O + Na ₂ O	9.99	9.85	10.49	2.32	2.07							
K ₂ O/Na ₂ O [*]	1.67	2.13	1.75	0.10	0.04							
σ [*]	3.68	3.38	5.38	0.99	0.75							

测试单位:国家地质实验测试中心;分析仪器:X 荧光光谱仪;测试精度:Fe₂O₃ 和 FeO 的 RSD<10%,其他元素的 RSD<2%~8%。* 单位为 1。

卡岩的稀土元素总量要大于南矿带矽卡岩的稀土元素总量。但是,在稀土元素配分模式图(图 6b)上,南、北矿带上的矽卡岩配分曲线非常相似,反映了它们之间具有密切的内在联系。

矿石:北矿带矿石的稀土元素总量为(18.05~422.11)×10⁻⁶,南矿带矿石的稀土元素总量为(12.84~48.73)×10⁻⁶,在稀土元素配分模式图(图 6c)上,南、北矿带矿石的稀土配分曲线非常相似。

3.3 微量元素

在微量元素蛛网图上(图 7a),二长岩与辉长岩形成了鲜明的对比,二长岩明显相对贫 Nb、Ta、Sr、P 和 Ti,而辉长岩相对贫 Th、Nb、P 和富集 K、Sr。

矿区内南北矿带中的矽卡岩在微量元素含量方面也具有一定的差别,主要表现在北矿带 Th、U、Nb、Ta、P、Sm、Y 和 Yb 含量相对较高,而 Rb、K、Ti 等元素含量低(图 7b)。而在矿石中,微量元素含量

的这种变化并不明显,总体来说,在微量元素蛛网图上(图 7c)它们还是非常相似的。

南、北矿带上矽卡岩中的成矿元素除了 Au 含量差别较大外,其他元素之间含量差别较小(图 8a)。而在矿石中,总体来说,北矿带相对南矿带富含 Ni、Cu 和 Au(图 8b),这可能都与后期的岩浆活动对矿床的改造有关。

4 讨论与结论

卡休他他矿床不仅富 Fe,而且还含有大量的 Co、Au 和 Ga 等有用元素,使得该矿床比一般单一铁矿具有更高的经济价值。这些不同元素的富集可能是同一成矿事件下不同成矿阶段的产物。总的来说,卡休他他矿床磁铁矿的成矿与辉长岩和震旦系地层的接触交代作用有关,其矿床类型应该属于接

表 2 卡休他他铁(金、钴)矿床矿石与围岩的稀土及微量元素分析结果($w_B/10^{-6}$)
Table 2 Analytical results of rare earth elements and trace elements of ores and wall rocks from the Kaxituta Fe(Au,Co) deposit($w_B/10^{-6}$)

	二长岩				辉长岩				砂卡岩				矿石			
	矿区内围		含暗色包体二长岩		矿区内围		矿区内围		矿区内围		矿区内围		矿区内围		矿区内围	
	B037	B053	KXS03	KXY01	KXY09	KXN03	KXN01	KXN06	KXS01	KXS05	KXS07	KXS09	KXN02	KXN04	KXN05	KXS02
La	82.8	125	207	0.9	0.27	44.8	61.6	5.59	9.76	13.2	15.1	3.24	176	5.23	1.83	3.23
Ce	148	205	330	2.03	0.63	54.3	69.6	10.8	18.7	14.5	29.4	6.55	185	8.01	5.26	6.74
Pr	12.4	19.8	30.7	0.31	0.11	4.94	5.46	1.77	2.22	1.29	3.56	0.87	11.9	0.77	0.8	0.96
Nd	41.3	67	102	1.76	0.7	20.7	20.6	10.7	9.29	4.94	15	4.31	30	2.79	3.87	4.82
Sm	5.24	8.42	11.5	0.61	0.37	6.09	6.41	3.21	2.04	1.32	3.06	1.46	3.74	0.68	1.06	1.43
Eu	1.61	0.75	1.31	0.43	0.24	2.05	2.89	1.39	0.49	0.66	0.82	1.35	1.01	0.6	0.13	0.4
Gd	4.41	6.63	9.89	0.79	0.59	6.48	8.38	3.29	2.27	1.56	3.03	1.71	4.37	0.84	1.17	1.63
Tb	0.54	0.79	1.12	0.16	0.13	1.1	1.68	0.63	0.41	0.28	0.52	0.34	0.62	0.16	0.22	0.31
Dy	2.42	3.17	4.77	1.05	0.99	6.37	11.8	4.03	2.59	1.86	3.16	2.22	3.53	1.02	1.47	2.02
Ho	0.46	0.56	0.89	0.22	0.21	1.21	2.63	0.83	0.53	0.38	0.63	0.45	0.73	0.21	0.31	0.43
Er	1.44	1.71	2.95	0.62	0.65	3.41	8.42	2.59	1.62	1.11	1.87	1.35	2.3	0.63	0.91	1.3
Tm	0.19	0.21	0.38	0.08	0.09	0.47	1.23	0.38	0.22	0.15	0.26	0.21	0.33	0.09	0.13	0.18
Yb	1.32	1.45	2.72	0.55	0.58	3.04	8.26	2.53	1.49	0.96	1.74	1.4	2.26	0.54	0.77	1.32
Lu	0.21	0.23	0.45	0.08	0.09	0.43	1.19	0.37	0.23	0.15	0.28	0.22	0.32	0.08	0.12	0.21
Σ REE	302.34	440.72	705.68	9.59	5.65	155.39	210.15	48.11	51.86	42.36	78.43	25.68	422.11	21.65	18.05	24.98
(La/Yb) $_N$	41.32	56.79	50.13	1.08	0.31	9.71	4.91	1.46	4.31	9.06	5.72	1.52	51.30	6.38	1.57	1.61
δ Eu*	1.01	0.30	0.37	1.91	1.58	1.00	1.22	1.31	0.70	1.42	0.82	2.63	0.77	2.45	0.36	0.81
Rb	105	143	107	4.72	0.64	9.64	3.88	0.86	23.3	5.74	27.2	62.1	5.49	9.62	2.54	10
Ba	1186	342	636	31.3	15.8	85.2	50.5	8.32	52	128	75.6	90.2	61.5	24.9	37.4	164
Th	14.1	17.8	20.6	0.052	<0.05	2.71	2.96	2.19	1.24	1.21	1.64	0.72	3.68	0.38	0.55	0.8
U	1.04	2.47	4.75	<0.05	<0.05	5.57	4.2	4.08	0.44	0.84	0.66	0.32	2.99	0.67	1.05	0.43
Nb	9	9.48	14.4	0.26	0.12	8.66	5.23	4.56	2.19	2.17	4.21	2.96	3.07	1.18	2.33	2.61
Ta	0.62	0.59	0.84	<0.05	<0.05	0.59	0.35	0.29	0.17	0.19	0.24	0.21	0.25	0.071	0.18	0.18
Sr	203	70.9	186	198	184	492	329	57	145	73.3	235	511	96.4	54.1	44.6	91.9
Zr	373	328	740	12.2	9.91	88.5	53.9	55.3	61.6	41.3	227	69.4	55.8	20.6	45	43.4
Hf	7.74	7.28	14.6	0.39	0.31	2.35	1.39	1.41	1.73	1.06	4.4	1.83	1.58	0.52	1.36	1.09
Y	12.9	14.7	23.5	6.07	6.8	36.3	76.9	26.4	15.1	11.1	16.9	11.8	19.4	6.5	9.31	12.2
Sc	4.27	4.67	14	32.2	36.9	11	8.97	11.9	45.1	10.6	43.9	51.4	15.2	6.15	9.66	19.1
Co	1.57	0.96	5.79	37.7	46.3	47	54.5	253	59	99.2	54	174	475	56	130	86.9
Ni	1.02	1.11	6.2	134	142	79	390	173	60.2	131	21	254	880	445	354	358
Cu	9.48	14.78	23.78	97.78	5.26	75.28	71.58	19.68	89.78	15.38	69.18	14.68	7884	4654	53.68	57.28
Ga	18.7	19.5	20.6	12.5	10.9	10.3	11.8	9.24	11.9	14.8	17.3	19.6	12.4	7.18	15.6	14.7
Pb	37	43.9	53.3	4.3	2.83	1243	28.7	8.56	12.1	72.3	31.5	67.6	101	44.6	6.98	31.8
Au			0.0033			0.013	0.22	0.58	0.0029	0.0008	0.0024	0.0004	0.24	4.28	0.0054	0.0038

测试单位: 国家地质实验测试中心。分析方法: 除了 Au 用原子吸收测量外, 其他微量和稀土元素均用 ICP-MS 测量; 测试精度: 除了 Au 的 RSD<30% 外, 其他元素的 RSD<10%。* 单位为 1。

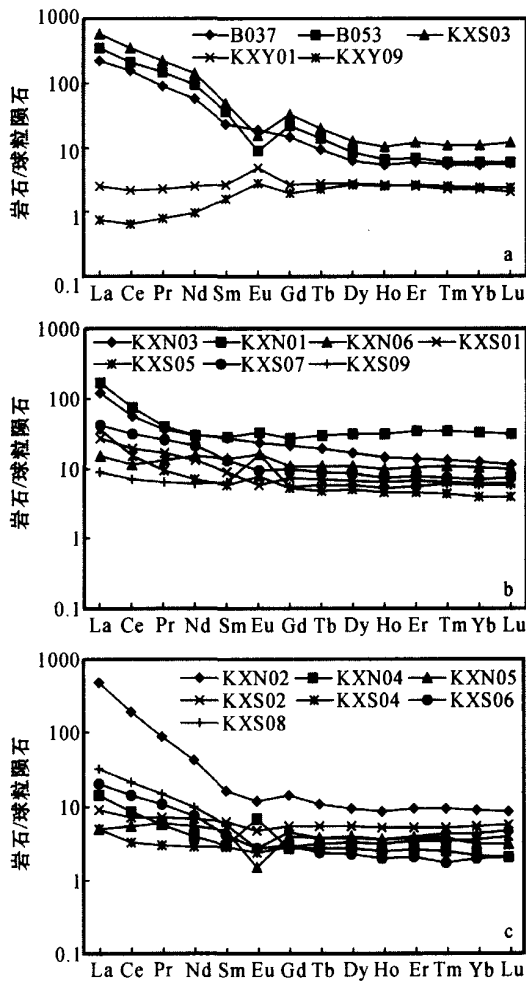


图 6 卡休他他铁(金、钴)矿床矿石与围岩的
稀土元素配分模式图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns
for the ores and wall rocks from the Kaxiutata Fe
(Au, Co) deposit

触交代型(又称矽卡岩型)磁铁矿床,其主要证据有:

(1) 铁矿体均产于不同类型的矽卡岩带中;

(2) 矽卡岩带在空间上位于海西中期辉长岩体的上下盘及其附近,或与千枚岩的接触带上。因此,在岩性上辉长岩及震旦系千枚岩均构成矽卡岩的母岩。矿体在接触带的内带外带均有产出,其中南矿带矿体都产于内带,北矿带 5~7 线矿体产于外带,8~16 线矿体产于内带;

(3) 矿体围岩蚀变的矽卡岩-角岩化矽卡岩-角岩的明显分带性体现了岩浆侵入的接触交代变质和热力变质特点;

(4) 铁矿体与矽卡岩的接触界线不清晰,多呈锯齿状,显示交代成矿作用的特点;

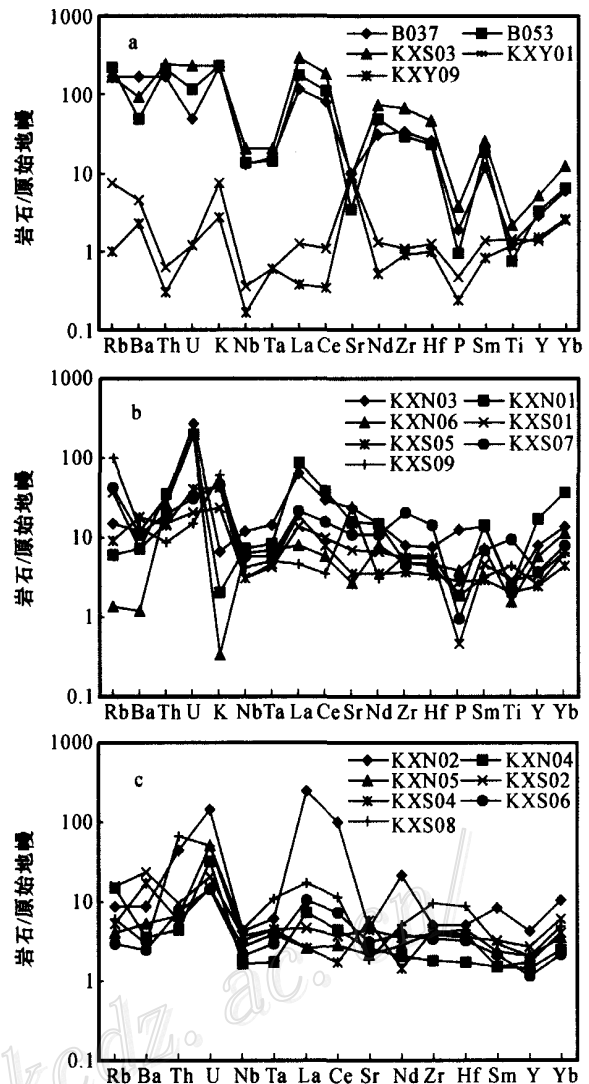


图 7 卡休他他铁(金、钴)矿床矿石与围岩的原始地幔
标准化微量元素蛛网图(据 Sun et al., 1989 数据)

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spider
diagram for the ores and wall rocks from the
Kaxiutata Fe (Au, Co) deposit (after Sun et al., 1989)

(5) 铁矿体矿石自接触带到矿体中心矿石构造由稀疏(或中等)浸染状渐变为致密块状(或稠密浸染状),矿石品位由低到高,呈渐变性。

从卡休他他铁矿区矿石及其围岩的稀土元素、微量元素分析结果来看,南、北矿带总体上来说是一期成矿作用的产物,少数成矿元素之间含量和矿石磁性上的差别,都可能反映了南矿带曾经遭受了后期二长岩侵入活动的影响,造成了部分成矿元素(如 Au、Cu 和 Ni 等)被活化迁移。

尽管金、钴矿体也产于不同类型的矽卡岩带中,少数金、钴矿体甚至也直接产在铁矿体内,但是

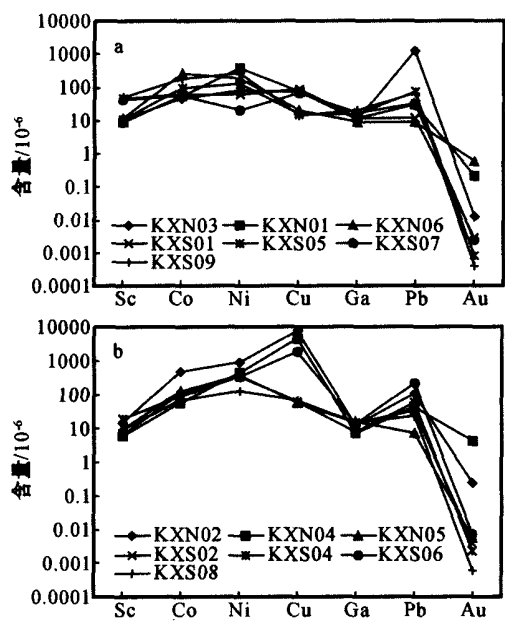


图 8 卡休他他铁(金、钴)矿床南北矿带矽卡岩(a)与矿石(b)成矿元素对比图

Fig. 8 Ore-forming element comparisons of skarn (a) and ores (b) between south and north iron ore zones of the Kaxiutata Fe(Au,Co) deposit

多数金、钴矿体在空间上与绝大多数铁矿体并不一致,它们主要与金属硫化物具有密切的成因关系,因此它们的形成可能要晚于磁铁矿。通常认为,矽卡岩型磁铁矿是岩浆气液阶段交代作用的产物,而钴主要是岩浆高温热液阶段的产物,金则是中温热液阶段的产物,并且从形成环境上来看,从磁铁矿到Co和Au的元素富集,其地球化学环境也逐步由氧化环境转变到还原环境。

卡休他他铁矿床硫化物的硫同位素分析结果(表3)表明,其 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V.CDT}}$ 值变化于 $-8.3\text{‰} \sim 3.2\text{‰}$,而且多数位于0值附近。由于辉长岩原岩来源较

深,通常来自下地壳或者上地幔,因此其 $\delta^{34}\text{S}$ 值一般在0左右,与陨石硫接近(魏菊英等,1988)。而较低的 $\delta^{34}\text{S}$ 负值,则很有可能来自老地层,即震旦系的浅变质岩。因此硫同位素分析结果表明,硫主要来自于岩浆岩,即辉长岩,只有少量来自于围岩地层。这可能说明,成矿物质也主要来自于辉长岩。

接触交代型(又称矽卡岩型)铁矿床是中国一种重要的铁矿床类型,是富铁矿石的主要来源,据统计,该类型铁矿储量约占中国铁矿石总储量的10.4%,富矿石约占中国已探明富矿石的一半左右(赵一鸣,2004;程裕洪等,1994)。该类型铁矿床主要与中酸性侵入岩体有关,像卡休他他铁矿这种与辉长岩有关的矽卡岩型铁矿,在中国并不多见。这些与中性和中偏基性(或偏碱性)侵入体有关的铁矿床,主要分布在稳定的华北地台范围内隆起区边缘的拗陷带(如邯邢式铁矿床),部分产于地槽造山带(如磁海铁矿床)(赵一鸣等,2004;左国朝等,2004;赵玉社,2000)。尽管卡休他他铁矿床也产于华北地台阿拉善台隆边缘的拗陷带,但是不同的是,邯邢式铁矿床与燕山期辉长岩-闪长岩和闪长岩-二长岩杂岩体有关,其围岩为中奥陶统的碳酸盐岩,而卡休他他铁矿床与海西中期辉长岩-闪长岩有关,且其围岩为震旦系浅变质碎屑岩。值得一提的是,由于本区工作程度低,辉长岩分布范围较大和航磁异常众多,因此卡休他他外围是寻找矽卡岩型磁铁矿床的有利地区。近年来,随着中国经济的快速发展,对钢铁的过度需求造成了国内外铁矿石的价格一路走高。据不完全统计,2003年中国从国外进口富铁矿石达1.5亿吨,超过了日本,成为世界第一大铁矿石进口国,消耗外汇51亿美元。2004年从国外进口1.9亿吨富铁矿石,耗资123.5亿美元(赵一鸣,2004)。进入2005年后,世界上最大的两家矿业巨头与全球主要钢铁厂达成71.5%涨幅协议。大幅上涨的铁矿石价格势必对中国建筑、机械、轻工、汽车、集装箱、造船、铁道和石化八大用钢大户产生不同程度影响。尽管可通过国际市场解决部分矿产资源的供给不足,但是作为一个拥有13亿人口的发展中大国,无论从经济实力,还是从安全供应角度,大宗和战略性矿产资源只能立足于国内解决,因此,寻找以铁为主的矿产资源接替基地已成为中国矿产地质工作者的当务之急。在卡休他他铁矿外围乃至中国西北地区开展更加广泛的铁矿资源调查将势在必行,并将有可能取得该类型矿床找矿工作的重大突破。

表 3 卡休他他铁矿床硫化物的硫同位素分析结果
Table 3 Sulfur isotope compositions of sulfides from the Kaxiutata deposit

样品编号	样品名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V.CDT}}/\text{‰}$
KXTJ-8	黄铁矿	-3.3
KXTJ-9	黄铁矿	-8.3
KXTJ-10	黄铁矿	-0.8
KXTD-1	黄铁矿	3.2
KXTD-2	黄铁矿	-2.2
KXTD-3	黄铁矿	-0.8
KXTD-3	方铅矿	1.7

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室。

References

- Cheng Y Q, Zhao Y M and Lin W W. 1994. Iron deposits in China [A]. In: Song S H, ed. Mineral deposits in China (volume 2) [M]. 386 ~ 479 (in Chinese) .
- Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources. 1991. Regional geology of Inner Mongolia [M]. Special Bulletin of the Ministry of Geology and Mineral Resources, P. R. China: Regional Geology, No. 25. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 725 (in Chinese) .
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geol. Soc. Spec. Publ., 42: 313 ~ 345.
- Wei J Y and Wang G Y. 1988. Isotope geochemistry [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 166 (in Chinese) .
- Wu L R. 1963. On the metallogenic specialization of basic and ultra-basic rocks in China [J]. Scientia Geologica Sinica, (1): 24 ~ 41 (in Chinese) .
- Zhao Y M, Wu L S, Bai G, Yuan Z X, Ye Q T, Huang M Z, Rui Z Y, Sheng J F, Lin W W, Deng S P, Mao J W, Bi C S, Dang Z F, Wang L S, Zhang Z H and Chen W S. 2004. Metallogeny of the major metallic ore deposits in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 411 (in Chinese) .
- Zhao Y M. 2004. Status of the resources of iron ores in China and counter-measures [J]. Geological Review, 50 (4): 396 ~ 417 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao Y S. 2000. Geological features and ore genesis of the Cihai iron deposit in Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 33 (1): 31 ~ 38 (in Chinese with English abstract) .
- Zuo G C, Li S X, Yu S N and Li Q L. 2004. The occurrence characteristics and metallogenic evolution of Cihai iron ore deposit in Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 37 (2): 53 ~ 61 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 程裕淇,赵一鸣,林文蔚. 1994. 中国铁矿床 [A]. 见: 宋叔和主编, 中国矿床(中册) [M]. 386 ~ 479.
- 内蒙古地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志 [M]. 中华人民共和国地质矿产部专报——区域地质, 第 25 号. 北京: 地质出版社. 1 ~ 725.
- 魏菊英,王关玉. 1988. 同位素地球化学 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 166.
- 吴利仁. 1963. 论中国基性超基性岩的成矿专属性 [J]. 地质科学, (1): 24 ~ 41.
- 赵一鸣,吴良士,白 鸽,袁忠信,叶庆同,黄民智,芮宗瑶,盛继福,林文蔚,邓颂平,毛景文,毕承思,党泽发,王龙生,张作衡,陈伟十. 2004. 中国主要金属矿床成矿规律 [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 411.
- 赵一鸣. 2004. 中国铁矿资源现状、保证程度和对策 [J]. 地质论评, 50 (4): 396 ~ 417.
- 赵玉社. 2000. 新疆磁海铁矿床地质特征及矿床成因 [J]. 西北地质, 33 (1): 31 ~ 38.
- 左国朝,李绍雄,于守南,李秋林. 2004. 新疆磁海铁矿床产出特征及成矿构造演化 [J]. 西北地质, 37 (2): 53 ~ 61.