编号:0258-7106(2011)01-0087-16

新疆阿尔泰乌吐布拉克铁矿床稀土元素 地球化学研究^{*}

张志欣¹ 杨富全¹ ,柴凤梅² ,刘 锋¹ ,耿新霞¹ ,吕书君³ ,姜丽萍² , 钟天智⁴ ,欧阳刘进²

(1中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;2新疆大学地质与勘查工程学院,新疆乌鲁木齐 830046;3中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;
 4新疆富蕴县金山矿冶公司,新疆富蕴 836100)

摘 要 乌吐布拉克中型铁矿床位于阿尔泰南缘成矿带东段麦兹盆地,矿体赋存于上志留统-下泥盆统康布铁 堡组变质火山-沉积岩系中,矿体呈似层状、透镜状,矿体及其周围发育大量的砂卡岩矿物。矿区多数围岩的稀土元 素配分曲线为轻稀土元素相对富集型,具有中等程度的 Eu 负异常及中等程度的 Ce 负异常,斜长角闪岩、含磁铁矿 石榴子石砂卡岩、绿帘石砂卡岩及矿石的稀土元素配分曲线表现出相似性,多为轻稀土元素相对富集型,具有强的 Eu 正异常及中等程度的 Ce 负异常,表明它们是由一种高温、铕强烈富集的岩浆流体在氧化环境下形成的。结合矿 床地质特征,判定乌吐布拉克铁矿床成矿物质来源为斜长角闪岩,磁铁矿的形成与砂卡岩化密切相关。

关键词 地球化学 稀土元素 初卡岩 铁矿床 ;乌吐布拉克 ,阿尔泰 中图分类号 : P618.31 文献标志码 ;A

A study of REE geochemistry of Wutubulake iron deposit in Altay, Xinjiang

ZHANG ZhiXin¹, YANG FuQuan¹, CHAI FengMei², LIU Feng¹, GENG XinXia¹, LÜ ShuJun³, JIANG LiPing², ZHONG TianZhi⁴ and OUYANG LiuJin²

(1 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 College of Geology & Prospecting Engineering Program, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China; 3. Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4 Fuyun County Jinshan Mining Corporation of Xinjiang, Fuyun 836100, Xinjiang, China)

Abstract

The medium-sized Wutubulake iron deposit is located in eastern Maizi Basin of the South Altay metallogenic beltmetallogenic belt metallogenic belt metallogenic belt. The ore bodies are hosted in the metamorphosed volcaniclastic-sedimentary sequence of the Upper Silurian-Lower Devonian Kangbutiebao Formation in the form of stratoids or lenses, surrounded by such skarn minerals as garnet, chinopyroxene, scapolite, albite, actinolite, epitote, chlorite and apatite. Ore minerals are mainly magnetite and subordinately pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite and molybdenite. Field evidence and petrographic observation indicate four ore-forming stages, i.e.,

本文为"十一五 '国家科技支撑计划重点项目(编号:2006BAB07B02-01),国土资源大调查项目(编号:1212010786006,1212010786004)
 和国家自然科学基金项目(编号:40672065)联合资助成果

第一作者简介 张志欣,男,1984年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业,Email:ddzhangzhixin@163.com 收稿日期 2010-10-10;改回日期:2010-11-18。张绮玲编辑。

prograde stage, retrograde stage, sulfide stage and supergene stage. Most of the wall rocks in the ore district have similar chondrite-normalized REE distribution patterns and are enriched in LREE, with a moderate Eu negative anomaly and a Ce negative anomaly. Amphibolites, which contains magnetite garnet skarn, epidote skarn and ores, have similar chondrite-normalized REE distribution patterns and are enriched in LREE, with an obvious Eu positive anomaly and a moderate Ce negative anomaly, implying that they were formed by magmatic fluids in an oxidation environment. The magmatic fluids are characterized by high temperature and strong enrichment of Eu. The oxygen and hydrogen isotopic data of garnet, quartz and calcite imply that the ore-forming fluids of skarn period in the Wutubulake iron deposit were mainly derived from magmatic water, with the mixture of some minor meteoric water. The carbon and oxygen isotopic data of calcite suggest that the carbon in the fluids was mainly derived from the mantle or deep-seated magma. The δ^{34} S values of sulfide range from 3.7‰ to 10.2‰, with an average of 6.5‰, indicating that the sulfur in the fluids was derived from the volcaniclastic rocks. In combination with the geological characteristics of this ore deposit, the authors hold that the ore-forming material was mainly derived from amphibolite, and the formation of magnetite was closely related to the skarns.

Key words: geochemistry, REE, skarn, iron deposit, Wutubulake, Altay

新疆阿尔泰山南缘是哈萨克斯坦阿尔泰巨型成 矿带的东延部分 其北以阿巴宫断裂为界 南至克兹 加尔断裂 ,与额尔齐斯构造带相邻 ,是中国重要的有 色、贵金属成矿带之一。 随着找矿勘查力度的加大 , 除蒙库大型铁矿外 近年来在阿尔泰山南缘麦兹盆 地的康布铁堡组变质火山-沉积岩系中发现了一系 列铁矿床(点),如巴拉巴克布拉克中型铁矿、巴利尔 🗅 斯中型铁矿、乌吐布拉克中型铁矿岑铁矿点等、该带 展示出良好的铁矿资源勘查前景。前人对该成矿带 中蒙库铁矿床的地质特征、成矿规律、矿区岩体时 代、矽卡岩矿物特征、成矿流体和成矿物质来源、矿 石及矿物的稀土元素等方面做了大量的研究 ,但对 于其成因类型仍存在着争论,主要有矽卡岩型、火山 喷流沉积 + 叠加改造型、海相火山岩型等几种观点 (张建中等,1987;王登红等,2002;李嘉兴等,2003; 仇仲学 2003 Wang et al., 2003 涨振福 2003 胡兴 平 2004 ;闫升好等 ,2005 ;童英等 ,2007 ;徐林刚等 , 2007a; 2007b; 杨富全等 2007; 2008a; 2008b)。乌吐 布拉克铁矿床位于阿勒泰市南东约 75 km 处,经详 查估算其铁矿石资源量共计 2 098.2 万吨♥ 达到中 型矿床规模,目前由金山矿冶公司开采。乌吐布拉 克铁矿床地质特征与蒙库铁矿具有诸多相似性 ,主 要表现为铁矿体呈似层状、透镜状赋存于上志留统-下泥盆统康布铁堡组变质火山-沉积岩系中 ,矿体及 其周围发育大量的矽卡岩矿物。本文以乌吐布拉克

铁矿为研究对象,对矿区围岩、矽卡岩及矿石进行了 系统的稀土元素地球化学研究,探讨了成矿作用过 程中 REE 的行为及成矿物质来源,为深入研究该成 矿带中铁矿床的成因及总结成矿规律,提供新的地 球化学依据。

1 区域成矿地质背景

乌吐布拉克铁矿床位于阿尔泰山南缘成矿带东 段的麦兹火山-沉积盆地中,所处大地构造位置为西 伯利亚板块的南阿尔泰晚古生代活动陆缘(图1,何 国琦等,2004)。区域主要出露中-上志留统库鲁姆 提群、上志留统-下泥盆统康布铁堡组和中-上泥盆统 阿勒泰镇组。库鲁姆提群为一套中深变质浅海-滨 海相碎屑沉积岩建造,主要由黑云母片麻岩、石英黑 云母片岩、黑云石英片岩夹斜长角闪岩组成。康布 铁堡组主要由中等变质海相火山熔岩、火山碎屑岩, 夹陆源碎屑岩和碳酸盐岩组成。阿勒泰镇组为一套 中浅变质浅海相复理石建造,主要由空质含砾砂岩、 变质钙质砂岩、变凝灰质砂岩和大理岩组成。

麦兹地区构造活动强烈,褶皱主要有麦兹复式 向斜,呈NW 向延长约40km,核部地层为阿勒泰镇 组,两翼地层为康布铁堡组。在转折端部位出现多 个次级褶皱,主要有蒙库背斜、铁木下尔衮向斜、巴 特巴克布拉克向斜及结别特向斜等,多分布于麦兹 复式向斜的北东翼,均为紧闭线性复式褶皱。区域 内主要发育 NW 向和 NNW 向 2 组断裂,这些断裂 是巴寨深大断裂的一部分或其次级断裂,表现为强 烈挤压破碎带。

区内侵入岩发育,从基性岩到酸性岩均有出露, 以中酸性-酸性侵入岩为主。酸性侵入岩主要沿北 西向构造线分布,多呈岩基和岩株状,岩性主要为似 斑状黑云母花岗岩、黑云母花岗岩、斜长花岗岩,少 数为角闪斜长花岗岩、二云母花岗岩、白云母花岗 岩、斜长角闪岩、辉长苏长岩及辉长辉绿岩(杨富全 等 2008a)。蒙库北部琼库尔片麻状似斑状黑云母 花岗岩体呈岩基产出,面积达 450 km²,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(399±4)Ma(童英等 2007); 蒙库矿区片麻状斜长花岗岩体呈岩株状产出,出露



图 1 乌吐布拉克铁矿矿区地质图(据何国琦等 2004;易朝楷等 2009⁰修改)

 1—康布铁堡组下亚组角闪变粒岩;2—康布铁堡组下亚组大理岩;3—康布铁堡组下亚组角闪黑云石英片岩;4—康布铁堡组下亚组斜长 角闪片麻岩;5—康布铁堡组下亚组浅粒岩;6—康布铁堡组下亚组磁铁角闪变粒岩;7—石榴子石砂卡岩;8—铁矿体及编号;
 9—伟晶岩脉;10—板块边界;11—国界

Fig. 1 Geological map of the Wutubulake iron ore district (modified after Yi et al., 2009)

1—Lower subformation of Kangbutiebao Formation : hornblende granulite ; 2—Lower subformation of Kangbutiebao Formation : marble ; 3—Lower subformation of Kangbutiebao Formation : biotite hornblende quartz schist ; 4—Lower subformation of Kangbutiebao Formation : amphibole gneiss ;
5—Lower subformation of Kangbutiebao Formation : leptite ; 6—Lower subformation of Kangbutiebao Formation : magnetite hornblende granulite ;
7—Garnet skarn ; 8—Iron ore body and its serial number ; 9—Pegmatitic vein ; 10—Boundary of plate ; 11—National boundaries

面积约 10 km²,其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(400 ±6) Ma,1 号矿体北部近矿围岩片麻状花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(404±8) Ma,1 号矿体北东 1.5 km 处片麻状黑云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(378±7) Ma(杨富全等 2008a)。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地层

矿区出露上志留统-下泥盆统康布铁堡组(图 1),由变质火山沉积岩-正常沉积岩组成,根据岩性 组合可分为上、下2个亚组。下亚组分布于矿区北 东部,分为2个岩性段。第一段岩石组合为斜长角 闪片麻岩、黑云角闪变粒岩、角闪变粒岩、浅粒岩、条 带状角闪黑云变粒岩,夹角闪黑云石英片岩及大理 岩透镜体。第二段岩石组合为含磁铁黑云变粒岩、 黑云母变粒岩、条带状角闪变粒岩、浅粒岩、夹斜长 角闪片麻岩、斜长角闪岩及大理岩透镜体,是矿区内 主要赋矿层位。上亚组主要分布于矿区南西侧,岩 性为变凝灰质砂岩、浅粒岩、变砂岩、变含砾砂岩夹 大理岩。

2.2 侵入岩

矿区外围侵入岩以花岗岩为主,见有少量中基 性岩脉(图2)。矿区南部片麻状斜长花岗岩呈岩株 产出,侵入蒙库背斜南东转折端康布铁堡组下亚组 层位转折虚脱部位。岩石具花岗结构,似片麻状构 造,锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和年龄为(385.6 ± 2.3) Ma(MSDW=0.13),矿区北部片麻状黑云母斜 长花岗岩呈纺锤状岩株产出,与库鲁姆提群黑云母 石英片岩-混合岩呈侵入接触关系。岩石具鳞片粒 状变晶结构,片麻状构造,锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐 和年龄为(387.7±2.1) Ma(MSDW=0.23), 张志欣



图 2 乌吐布拉克铁矿矿区外围侵入岩分布图(据大桥幅 1:20 万地质图,1978 修改)

Fig. 2 The distribution of the intrusive rocks in the peripheral areas of the Wutubulake iron ore district (modified from 1 200000 Daqiao Geological Map , 1978)



图 3 乌吐布拉克铁矿床 4 号勘探线剖面图 (据易朝楷等 2009[●]修改)

Fig. 3 Geological section along No. 4 exploration line of the Wutubulake iron deposi(modified after Yi et al. , 2009)

等 2011)。

2.3 矿体及矿石特征

在乌吐布拉克铁矿区已圈定 Fe1、Fe2、Fe3、Fe4 四个主要铁矿体及多个盲矿体。赋矿围岩以角闪变 粒岩、黑云母变粒岩、石榴子石矽卡岩为主,其次为 斜长角闪岩、浅粒岩、角闪黑云石英片岩、斜长角闪 片麻岩及透镜状大理岩。矿体呈似层状、透镜状及 不规则状顺层产出,常见膨大收缩、分枝复合、尖灭 等现象(图3)。单个矿体水平厚度不等,最大可达 30.9 m,延长约80~600 m,延伸大于400 m。矿体 与围岩产状大体一致,走向300°左右,倾角65~75°, 局部切层明显。

矿石构造主要为块状、浸染状,其次为条带状、 角砾状、斑杂状、脉状构造(图4E~I)。矿石结构主 要有粒状变晶结构、交代残余结构,少数变余结构和 碎裂结构。矿石中主要金属矿物为磁铁矿,其次为 磁赤铁矿,含少量黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿 等。脉石矿物主要为石榴子石、钙铁辉石、透辉石、 角闪石、长石,其次为黑云母、石英、方解石、绿泥石、 绿帘石、透闪石、绢云母,含少量方柱石、磷灰石、萤 石、褐帘石等。矿体全铁平均品位为23%~28%[●]。 2.4 成矿期次划分及围岩蚀变

根据野外及室内镜下观察矿物的组合与穿插关 系 将乌吐布拉克铁矿成矿过程划分为 2 期 4 个阶 段 即矽卡岩期和表生氧化期。矽卡岩期进一步划 分为 4 个阶段。

早期矽卡岩阶段:主要形成石榴子石,其次为钙 铁辉石、透辉石、方柱石等,属无水矽卡岩阶段。中 期矽卡岩阶段:主要形成磁铁矿、绿帘石、绿泥石、透 闪石、角闪石、阳起石等,属含水矽卡岩阶段,是主要 成矿阶段。晚期矽卡岩阶段:主要形成钠长石、黑云 母等。硫化物阶段:主要形成黄铁矿、黄铜矿、磁黄 铁矿、辉钼矿、石英、方解石等。

矿区围岩蚀变发育,主要为矽卡岩化、硅化、方 解石化、绢云母化和钠长石化。根据矿物组合,矽卡 岩可分为石榴子石矽卡岩、透辉石矽卡岩、透辉石-石榴子石矽卡岩、绿帘石-透辉石矽卡岩。

3 样品及分析方法

本次用于稀土元素分析的 27 件样品分别采集 于 Fe1、Fe2、Fe3 矿体附近围岩及矿石,这些样品包 括 14 件近矿围岩(3 件角闪变粒岩、1 件黑云角闪变 粒岩、1 件条带状角闪变粒岩、3 件浅粒岩、2 件角闪 黑云石英片岩、2 件斜长角闪岩、2 件斜长角闪片麻 岩 \6 件砂卡岩、5 件磁铁矿矿石和 2 件块状黄铁矿 矿石。

角闪变粒岩(图 4A) 粒状变晶结构,块状构 造,主要由石英(35%~40%),普通角闪石(30%~ 35%)及斜长石(15%~20%)组成,次要矿物为榍石 和磁铁矿。黑云角闪变粒岩,片柱状变晶结构,条带 状构造,主要由斜长石(25%~30%),普通角闪石 (20%~25%),石英(20%~25%),黑云母(10%~

[•] 易朝楷 ,等. 2009. 新疆富蕴县蒙库铁矿区乌吐布拉克矿段补充详查及外围普查地质报告.



图 4 乌吐布拉克铁矿床围岩及矿石特征

 Λ. 角闪变粒岩; B. 条带状角闪变粒岩; C. 浅粒岩; D. 角闪黑云石英片岩; E. 含磁铁矿斜长角闪岩; F. 含磁铁矿砂卡岩; G. 含磁铁 矿石榴子石砂卡岩; H. 块状磁铁矿矿石; I. 含黄铁矿石榴子石砂卡岩

Fig. 4 Features of wall rocks and ores from the Wutubulake iron deposit

Λ. Hornblende granulite; B. Striped hornblende granulite; C. Leptite; D. Biotite hornblende quartz schist; E. Magnetite in amphibolite;
 F. Magnetite in skarn; G. Magnetite in garnet skarn; H. Massive magnetite ore; I. Pyrite in garnet skarn

15%)及榍石(5%)组成。条带状角闪变粒岩(图 4B),粒状变晶结构,条带状构造,矿物主要为石英 (55%~60%)、普通角闪石(20%~25%)及斜长石 (10%~15%)。

浅粒岩(图 4C) 粒状变晶结构,块状构造,矿 物主要为石英(80%~85%)及斜长石(10%~ 15%),见有少量透闪石、普通角闪石、榍石及磁铁 矿。

角闪黑云石英片岩(图 4D) 片状变晶结构,片 状构造,主要由黑云母(70%~75%)、石英(15%~ 20%)、普通角闪石(5%~10%)及斜长石(5%)组成。

斜长角闪岩(图 4E) 主要分布于矿体两侧,呈

似层状、不规则脉状产出,空间上与砂卡岩和矿体关 系密切。柱状变晶结构,块状构造,主要矿物为普通 角闪石(45%~50%)、斜长石(25%~30%)及石英 (5%~10%),副矿物为榍石和磁铁矿。

斜长角闪片麻岩 柱状变晶结构,片麻状构造, 矿物主要为石英(45%~50%)、普通角闪石(25%~ 30%)及斜长石(15%~20%)。

砂卡岩主要为石榴子石砂卡岩及绿帘石砂卡 岩,部分样品含细粒浸染状磁铁矿。

块状黄铁矿矿石主要由黄铁矿组成,其次为石 英及自形石榴子石等。

对上样品进行清洗、粉碎、缩分,将其在玛瑙研 钵中研磨至200目以下粉末备用。样品分析工作在 国家地质实验测试中心完成,采用酸溶法,分析仪器 为等离子质谱 X-series,执行标准为 DZ/T 0223-2001,分析误差小于5%。

4 稀土元素分析结果及地球化学特征

27 件岩体、围岩、矿石稀土元素分析结果见表 1 表中同时列出了 3 件蒙库铁矿矿石样品分析结果 (闫升好等 ,2005 ;杨富全等 ,2007)。表 1 中的 REE 球粒陨石标准采用 Taylor 等(1985)的数据 ,铕异常 与铈异常分别采用 $\delta Eu = 2Eu_N / (Sm_N + Gd_N), \delta Ce$ = $2Ce_N / (La_N + Pr_N)$ 表示。

斜长角闪片麻岩 2件样品的总稀土元素含量 变化较小,为116.41×10⁻⁶~121.33×10⁻⁶。稀土 元素配分模式相似(图 5A),为轻稀土元素相对富集 的右倾型。轻、重稀土元素组内部均发生了一定程 度的分异作用((La/Sm),=2.01~2.22,(Gd/Yb), =1.35~1.48)。 δ Eu = 0.80~0.84, δ Ce = 0.91~ 0.99 表明其具有弱负铕异常 基本无负铈异常。

角闪变粒岩 3件角闪变粒岩与1件黑云角闪 变粒岩(WT103)的总稀土元素含量变化较大,为 105.82×10⁻⁶~286.55×10⁻⁶。稀土元素配分模式 (图 5B)显示轻稀土元素相对富集的右倾特征。◎ $(La/Sm)_{\rm N} = 1.51 \sim 4.18$, $(Gd/Yb)_{\rm N} = 0.84 \sim 2.20$, 表明轻、重稀土元素组内部均发生了一定程度的分 异作用。1件条带状角闪变粒岩(WT105)的稀土元 素总含量较低,为57.48×10⁻⁶,其稀土元素配分模 式显示轻重稀土元素之间分异不明显〔LREE/ HREE=0.85;(La/Yb)₁=0.34)。5件样品的 ∂Eu =0.43~1.12, & Ce=0.84~1.09,表明其具有中等 程度负铕异常(除WT103表现出极弱正铕异常外), 基本上无铈异常。3件角闪变粒岩稀土元素配分曲 线相似 表明它们的原岩具有相同成因 而黑云角闪 变粒岩(WT103)和条带状角闪变粒岩(WT105)的配 分曲线存在较大差异 反映出变粒岩原岩有多种类 型。

浅粒岩 3件样品的总稀土元素含量变化较大 (38.77×10⁻⁶~244.28×10⁻⁶)。稀土元素配分模 式(图 5C)显示轻稀土元素相对富集的右倾特征,具 有强负铕异常($\delta Eu = 0.20 \sim 0.36$)和中等程度负铈 异常($\delta Ce = 0.65 \sim 0.88$)。

角闪黑云石英片岩 2件样品的稀土元素配分 模式(图 5D)为轻稀土元素相对富集的右倾型 [LREE/HREE = $3.20 \sim 3.58$; (La/Yb)_N = $2.24 \sim$ 3.47] 具有正铕异常($\delta Eu = 1.12 \sim 1.57$)。(La/Sm)_N = $1.34 \sim 2.05$; (Gd/Yb)_N = $1.43 \sim 1.52$; 表明轻、重稀土元素组内部均发生了一定程度的分异作用。

斜长角闪岩 2件样品的总稀土元素含量变化 较大,为174.42×10⁻⁶~324.19×10⁻⁶。稀土元素 配分模式(图 5E)显示轻稀土元素相对富集的右倾 特征[LREE/HREE = 4.61~9.69;(La/Yb)_x = 6.48~11.06],具有强正铕异常(δ Eu = 2.31~ 3.04),弱负铈异常(δ Ce=0.74~0.87)。

矽卡岩 2件含磁铁矿石榴子石矽卡岩 (WT47,WT119)与2件绿帘石矽卡岩(WT02, WT03)总稀土元素含量变化较大,变化于12.33× $10^{-6} \sim 155.03 \times 10^{-6}$,稀土元素配分模式为轻稀土 元素相对富集的右倾型[LREE/HREE = 2.47 ~ 5.14;(La/Yb) = 1.58~6.00]2件石榴子石矽卡 岩的总稀土元素含量较低,变化于39.02×10⁻⁶~ 64.68×10⁻⁶,稀土元素配分模式(图5F中WT44, WT121)显示轻稀土元素相对亏损的左倾特征 [LREE/HREE = 0.46~0.62;(La/Yb) = 0.05~ 0.09]。6件样品均具有强正铕异常(dEu = 3.46~ 9.54),中等程度负铈异常(dCe = 0.60~0.89)。

磁铁矿矿石 5件样品的总稀土元素含量变化 较大($\sum REE = 4.39 \times 10^{-6} \sim 156.94 \times 10^{-6}$)。4件 样品具有相似的稀土元素配分模式(图 5G),表现为 轻稀土元素相对富集的右倾型,1件绿泥石磁铁矿矿 石(WT55)显示出轻稀土元素相对亏损的左倾特征 [LREE/HREE = 0.69;(La/Yb)_A = 0.14]。5件样 品轻、重稀土元素组内部均发生了一定程度的分异 作用,但分异作用相对较弱[(La/Sm)_A = 0.29~ 1.16,(Gd/Yb)_A = 0.60~1.78]均具有强正铕异常 ($\delta Eu = 0.92 \sim 4.38$,除WT54表现出较弱的负铕异 常),弱负铈异常($\delta Ce = 0.72 \sim 0.90$)。以上磁铁矿 矿石与蒙库铁矿磁铁矿矿石(闫升好等,2005;杨富 全等,2007)稀土元素配分模式(图 5G 中 MK01, MK10-8)具有相似性,表明两个矿床中矿石具有相 同的成因。

块状黄铁矿矿石 1件含石榴子石块状黄铁矿 矿石的总稀土元素含量中等($\sum REE = 58.97 \times 10^{-6}$)稀土元素配分模式(图 5H中 WT122)显示轻 稀土元素相对富集的右倾特征,轻稀土元素组内部 分异作用强烈((La/Sm))=3.22),而重稀土元素组

崁	
盤	
表	
ГĘ	
×IE XIE	
百米	
1	
政	
ЧE	
HF 11/	
1	
先石	
克	
17	
布	
甘	
4비)	
Η	
表	

Table 1 Rare Earth Elements composition of wall rocks and ores from the Wutubulake iron deposit

	WT98	WT101	WT103	WT104	WT105	66LM	WT109	WT110	WT106	WT107	WT100	WT108	WT05	WT102	WT02
	角闪	角闪	黑云角闪	角闪	条带状角	ोत्त स्वर्भ चार	ोत्ता स्टॉर दार	ोत्ता स्थाः दार्थ	斜长角	斜长角	角闪黑云	角闪黑云	斜长	傘长	绿帘石
	变粒岩	变粒岩	变粒岩	变粒岩	闪变粒岩	该栏石	法枢石	该枢石	闪片麻岩	闪片麻岩	石英片岩	石英片岩	角闪岩	角闪岩	砂卡岩
			A.	4			$w(B)/10^{-10}$	- 6							
La	13.7	18.5	55.8	55.1	2.92	13.1	6.64	66.7	19.9	17.6	16.8	8.6	34.8	75.1	22.4
ပိ	38.2	34	108	94.5	8.47	19.4	13.1	86.2	41.1	40.6	29.5	21.9	51.7	129	43.9
\mathbf{Pr}	4.96	4.64	13.4	9.84	1.53	2.45	1.8	13.3	5.53	5.22	4.14	3.31	7.01	14.4	6.3
PN	22.5	19.5	56.3	38.8	8.61	9.3	7.26	48.7	24.5	23.1	19.9	15.8	31.7	57.4	29
Sm	5.72	4.67	12.5	8.3	3.61	1.96	1.72	7.78	5.65	5.5	5.15	4.05	8.64	10.4	7.44
Eu	1.44	0.69	4.52	1.33	1.23	0.26	0.13	0.47	1.64	1.51	2.89	1.59	9.47	7.55	13.2
Gd	6.76	5.02	11.8	7.7	6.1	2.43	1.75	6.53	6.32	5.99	6.12	4.59	10.5	9.2	8.69
Tb	1.14	0.92	1.75	1.26	1.22	0.47	0.34	1	1	0.95	0.96	0.74	1.55	1.32	1.48
Dy	7.58	6.19	9.84	7.48	8.72	3.27	2.14	5.53	6.05	6.18	5.9	4.8	8.52	7.51	9.72
Ho	1.6	1.35	1.88	1.53	1.96	0.72	0.47	1.11	1.32	1.32	1.23	0.98	1.64	1.62	5
Er	4.73	4.09	5.11	4.56	5.58	2.2	1.49	3.17	3.76	3.76	3.48	2.79	4.2	4.76	5.3
Tm	0.7	0.65	0.68	0.68	0.85	0.35	0.23	0.45	0.53	0.54	0.49	0.4	0.54	0.67	0.71
$\mathbf{Y}_{\mathbf{b}}$	4.8	4.82	4.35	4.66	5.78	2.47	1.5	2.91	3.47	3.6	3.27	2.6	3.63	4.59	4.29
Lu	0.7	0.78	0.62	0.69	0.9	0.37	0.2	0.43	0.56	0.54	0.45	0.38	0.52	0.67	0.6
Υ	41.8	35.3	48.8	41.2	48.6	18.3	11.4	28.3	32.1	33.1	30.6	24.4	41.8	43.7	53.4
SREE	114.53	105.82	286.55	236.43	57.48	58.75	38.77 单位为1	244.28	121.33	116.41	100.28	72.53	174.42	324.19	155.03
LREE/HREE	3.09	3.44	6.95	7.28	0.85	3.78	3.77	10.56	4.27	4.09	3.58	3.2	4.61	9.69	3.73
$(La/Yb)_N$	1.93	2.59	8.67	7.99	0.34	3.58	2.99	15.49	3.88	3.3	3.47	2.24	6.48	11.06	3.53
$(La/Sm)_N$	1.51	2.49	2.81	4.18	0.51	4.21	2.43	5.4	2.22	2.01	2.05	1.34	2.54	4.55	1.9
$(Gd/Yb)_N$	1.14	0.84	2.2	1.34	0.86	0.8	0.95	1.82	1.48	1.35	1.52	1.43	2.34	1.62	1.64
(La/Lu) _N	2.03	2.46	9.34	8.29	0.34	3.68	3.45	16.1	3.69	3.38	3.88	2.35	6.95	11.64	3.88
δEu	0.71	0.43	1.12	0.5	0.8	0.36	0.23	0.2	0.84	0.8	1.57	1.12	3.04	2.31	5.01
àCe	1.09	0.84	0.9	0.89	0.93	0.76	0.88	0.65	0.91	0.99	0.81	0.96	0.74	0.87	0.86

质

2011 年

														Cont	. Table 1
	WT03	WT44	WT47	WT119	WT121	WT04	WT51	WT54	WT55	WT120	MK01	M10-8	WT122	WT123	MIK02
	绿帘石	石榴石	含磁铁矿	含磁铁矿	上 相石	绿帘石磁	块状磁铁	黄铁矿磁	绿泥石磁	石榴石磁	块状磁铁	石榴石磁	含石英石	含石榴石	块状
	砂卡岩	砂卡岩	石榴石砂 卡浩	石榴石砂 卡岩	砂卡岩	铁矿矿石	矿矿石	铁矿矿石	铁矿矿石	铁矿矿石	矿矿石	铁矿矿石	榴石块状黄铁矿	块状黄铁矿	黄铁矿
							w(B)/10	- 6							
La	12.2	0.4	10.3	0.75	0.57	17.1	0.42	2.46	0.3	1.57	2.18	3.77	453	11.1	21.6
లి	25	1.71	18.4	2.2	2,25	37	0.87	7.39	0.89	2.78	4.41	7.85	635	18.4	30.9
\mathbf{Pr}	3.46	0.47	2.46	0.68	0.86	5.9	0.13	1.44	0.19	0.52	0.69	1.49	58.6	2.18	2.91
PN	16	3.73	9.96	4.44	7.27	29.6	0.64	7.05	1.28	3.24	3.59	8.43	168	8.18	8.86
Sm	4.38	2.62	2.32	0.98	3.54	9.29	0.23	1.7	0.65	1.25	1.22	3.33	13.1	2.17	1.31
Eu	16.6	6.05	2.84	1.22	5.86	15	0.21	0.51	0.61	1.84	0.73	2.13	3.28	2.59	1.18
Gd	6.44	6.09	2.7	0.63	7.01	11.8	0.35	1.66	1.06	1.67	1.42	4.45	4.9	3.12	1.64
Tb	1.32	1.15	0.42	0.08	1.57	2.01	0.07	0.24	0.19	0.25	0.24	0.94	0.53	0.57	0.21
D_{y}	9.82	7.52	2.47	0.48	12.6	13	0.54	> 1.42	1.34	1.69	1.5	6.35	1.18	3.97	1.15
Ho	2.16	1.5	0.51	0.11	3.13	2.57	0.12	0.31	0.32	0.36	0.33	1.28	0.19	0.89	0.2
Er	5.59	4.06	1.39	0.35	9.45	6.7	0.35	0.93	0.93	0.89	1.01	3.58	0.72	2.67	0.5
Tm	0.73	0.5	0.19	0.04	1.29	0.87	0.06	0.17	0.17	0.12	0.14	0.49	0.08	0.37	0.07
Yb	4.69	2.89	1.16	0.32	8.26	5.36	0.35	1.28	1.42	0.77	0.86	2.9	0.46	2.41	0.49
Lu	0.66	0.33	0.16	0.05	1.02	0.74	0.05	0.2D	0.28	0.1	0.12	0.39	0.08	0.35	0.08
Υ	55.1	45.5	17.5	ε	87	6.99	3.32	8.33	6.2	11.5	9.75	36.5	3.95	26.7	6.86
NREE	109.05	39.02	55.28	12.33	64.68	156.94	4.39	26.77	9.63	17.05	18.44	47.38	1339.12	58.97	71.1
							单位为1	_	0	(
LREE/HREE	2.47	0.62	5.14	4.99	0.46	2.65	1.32	3.3	0.69	CI:91	2.28	1.32	163.51	3.11	15.38
$(La/Yb)_N$	1.76	0.09	9	1.58	0.05	2.16	0.81	1.3	0.14	1.38	1.71	0.88	665.47	3.11	29.79
$(La/Sm)_N$	1.75	0.1	2.79	0.48	0.1	1.16	1.15	0.91	0.29	0.79	1.12	0.71	21.77	3.22	10.38
$(Gd/Yb)_N$	1.11	1.71	1.89	1.6	0.69	1.78	0.81	1.05	0.6	1.76	1.34	1.24	8.63	1.05	2.71
(La/Lu) _N	1.92	0.13	6.68	1.56	0.06	2.4	0.87	1.22	0.11	1.63	1.89	1.00	587.85	3.29	28.03
δEu	9.54	4.45	3.46	4.45	3.52	4.38	2.26	0.92	2.23	3.89	1.69	1.69	1.04	3.04	2.46
ðCe	0.89	0.79	0.84	0.66	0.6	0.86	0.87	0.9	0.84	0.72	0.84	0.78	0.8	0.83	0.81
注: MIK01, MIK	32 据闫升好:	等,2005,M1	10-8 据杨富、	全等,2007.	其他为本文)	听测数据。2	EREE 为除 7	Y外的稀土	元素总和。						

续表1



图 5 乌吐布拉克铁矿床围岩(A~E), 砂卡岩(F)及矿石(G、H)的稀土元素配分模式 Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of wall rocks(A~E), skarns(F) and ores(G、H) from the Wutubulake iron deposit

内部分异作用较弱〔(Gd/Yb_{)N}=1.05〕,具有强正铕 异常,弱负铈异常,这与蒙库铁矿块状黄铁矿(闫升 好等 2005)特点相似(图 5H 中 MK02)。1件含石 英石榴子石块状黄铁矿矿石的总稀土元素含量异常 高(1339.12×10⁻⁶),稀土元素配分模式(图 5H 中 WT123)显示轻稀土元素强烈富集的右倾特征 〔LREE/HREE=163.51;(La/Yb)_N=665.47〕,轻、 重稀土元素组内部分异作用强烈〔(La/Sm)_N= 21.77,(Gd/Yb)_N=8.63〕,这类块状黄铁矿矿石与 乔夏哈拉矿区具高稀土元素含量及轻、重稀土元素 高分异度特点的块状富铜矿石(闫升好等,2005)非 常相似,对于这种矿石的成因尚需进一步研究。

5 讨 论

5.1 围岩及矽卡岩稀土元素特征

前人研究表明阿尔泰造山带花岗质岩石形成期 间伴随有造山作用(Bibikova et al., 1992; 庄玉勋, 1994 Jahn et al., 1998; Wang et al., 2006) 其中古 生代地层均遭受了绿片岩相到角闪岩相的变质作用 (郑常青等,2007)。一般认为在低于角闪岩相的变 质作用过程中 稀土元素不会发生明显的迁移(王中 刚等,1989)。乌吐布拉克矿区围岩稀土元素配分模 式多为轻稀土元素相对富集型,角闪变粒岩、浅粒 岩、斜长角闪片麻岩多以出现较强的负铕异常为特 点 ,而角闪黑云石英片岩与斜长角闪岩则以具有强 正铕异常为特点。在 La/Yb- \sum REE 图解中(图 6), 矿区围岩数据投点绝大部分落在玄武岩区 表明矿 区围岩的原岩主要为火山岩 少数为沉积岩 这与麦 茲盆地中变质岩原岩恢复(张建中等,1987)得出的 结论相一致。因此认为矿区多数围岩的稀土元素配 分模式继承了原岩火山岩的特征,负铕异常可能是 由于岩浆熔体中斜长石的结晶分异造成的,正铕异 常可能是由于较基性的岩浆形成的岩石容易出现正 Eu异常。实验证明随着熔体中 SiO2 含量的减少, Eu 在熔体中的溶解度增大(Kravchuk et al., 1989)。

乌吐布拉克铁矿单矿物电子探针分析结果表 明,石榴子石端员组分以钙铁榴石为主,其变化范围 为72.89%~84.09%,平均78.44%,其次是铁铝榴 石(8.23%~12.68%)与钙铝榴石(3.47%~ 14.97%)(另文发表)。石榴子石砂卡岩稀土元素配 分模式最显著的特点是出现强的正铕异常,其中又 有两种不同型式, 轻稀土元素相对富集的右倾型和



图 6 乌吐布拉克铁矿床围岩 La/Yb-REE 图解 (底图转引自朱笑青等,1994) 1--球粒陨石;2--大洋拉斑玄武岩;3--大陆拉斑玄武岩;

4—碱性玄武岩;5—花岗岩;6—金伯利岩;7—碳酸岩;8—沉积岩 Fig. 6 La/Yb-REE diagram of wall rocks from the Wutubulake iron deposid after Zhu et al., 1994)
1—Chondrite; 2—Oceanic tholeiite; 3—Continental tholeiite; 4— Alkalic basalt; 5—Granite; 6—Kimberlite; 7—Carbonatite; 8—Sedimentary rocks

重稀土元素相对富集的左倾型。轻稀土元素相对富 集的右倾型与长江中下游东狮子山、伏牛山、西狮子 山和胡村 Cu(Au)矿床的矽卡岩及大冶-武山矿化矽 卡岩直线型与折线型配分模式一致,研究认为这些 矽卡岩的形成与岩浆作用有关,HREE 优先与矽卡 岩矿物中钙铁榴石结合可能是导致矽卡岩全岩富集 轻稀土元素的主要因素,而导致矽卡岩全岩富集重 稀土元素的主要因素是 LREE 优先与钙铝榴石结合 (赵斌等,1999,赵劲松等,2007)。矽卡岩中正 Eu 异 常的形成,可能是由于钙铁榴石中八次配位的 Ca²⁺ (*r*=1.12Å)与 Eu³⁺(*r*=1.066Å)离子半径相近,发 生类质同像置换造成矽卡岩中 Eu 的富集,从而表现 出正 Eu 异常。

5.2 成矿环境及流体来源指示

Eu 属于变价元素,有 Eu²⁺和 Eu³⁺两种价态,通 常呈 Eu³⁺出现。高温条件是决定流体中是否出现 Eu 正异常的重要条件(Bau,1991;Klinkhammer et at.,1994;Hass et al.,1995)。赵劲松等(2007)通 过研究大冶-武山矿化矽卡岩,认为 Eu 异常的大小 可以反映氧化还原程度的强弱,Eu 异常峰值越高, 表明氧化程度越强,相反,Eu 异常谷值越深,表明还 原程度越强。乌吐布拉克铁矿矽卡岩及矿石均出现 强的 Eu 正异常,表明其形成温度较高,从矽卡岩→ 磁铁矿矿石→黄铁矿矿石,Eu正异常逐渐变小,表 明成矿环境由早期强氧化环境逐渐变为晚期相对还 原环境。

Ce同样属于变价元素,分别是 Ce³⁺和 Ce⁴⁺两种价态。通常在氧化条件下,Ce³⁺被氧化成 Ce⁴⁺, 而 Ce⁴⁺ 很难被溶解,因此沉积物中呈现 Ce 正异常 或无明显的负异常;当处于次氧化或缺氧环境时,Ce 被活化并以 Ce³⁺形式释放到水体中,导致沉积物中 呈现 Ce 负异常(DeBaar et al.,1985;杨兴莲等, 2008)。丁振举等(2003)认为矿石中 Ce 的相对亏 损,也是成矿热液 Ce 相对亏损的反映,是由于海水 的加入引起的。乌吐布拉克铁矿床中矽卡岩及矿石 均出现强 Eu 正异常及弱 Ce 负异常,表明成矿流体 中存在海水的加入。

矿区 9 件石榴子石的 δD_{SMOW} 值变化于 -133%~ $-106\% \delta^{18}O_{H_2O}$ 值介于 $0.4\% \sim 5.3\%$;7 件石英 的 δD_{SMOW} 值较高,介于 $-150\% \sim -121\% \delta^{18}O_{H_2O}$ 值介于 $-2.9 \sim -1.7\%$;11 件方解石的 δD_{SMOW} 值介 于 $-146\% \sim -113\%$, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值介于 $-1.4\sim$ $-0.1\% \delta^{13}C_{PDB}$ 值变化于 $-6.9\% \sim -4.6\%$ (另文 发表)。以上碳、氢、氧同位素组成表明成矿流体主 要来源于岩浆水,但同时伴随有地层中封存海水(建 造水)的加入,这与矽卡岩及矿石稀土元素特征得出 的结论一致。

综合成矿环境及流体来源指示,认为乌吐布拉 克铁矿床中矽卡岩及矿石均出现强 Eu 正异常及弱 Ce 负异常,表明其成矿环境为氧化环境,成矿流体 主要为高温、铕强烈富集的岩浆流体。

5.3 成矿物质来源

稀土元素属于不活泼元素,地球化学性质具有 相似性,在矿化作用过程中类似于同位素的示踪性 质,通过研究矿石矿物及不同岩石中的稀土元素组 成特征和配分形式,判断成矿环境和物理化学条件, 成为解决成矿物质来源、成矿条件和成矿流体的有 效手段之一(Hanson,1980;Henderson,1984;葛朝华 等,1984;王中刚,1989;Frietsch et al.,1995;李厚民 等2003;2009;杨耀民等,2004)。通过对乌吐布拉 克矿区围岩及矿石的稀土元素特征研究,表明斜长 角闪岩、矿石、含磁铁矿石榴子石砂卡岩及绿帘石砂 卡岩的稀土元素配分模式表现出相似性,如均为轻 稀土元素相对富集型,呈现强的正铕异常,弱的或中 等程度负铈异常。在(La/Yb),{La/Sm},图解中 (图7)样品基本呈直线分布,表现出一定的正相关 性,暗示斜长角闪岩、砂卡岩和矿石存在明显的成因 关系。在∑La-Nd-∑Sm-Ho-∑Er-Lu图解中(图8), 所有样品具有相关性,表明斜长角闪岩、砂卡岩及矿 石中 REE 组成具有相似性和成因联系,同时暗示砂 卡岩的形成与斜长角闪岩有关,铁等成矿物质来源 于斜长角闪岩。上述结论也得到了硫同位素的证 实,乌吐布拉克铁矿20件硫化物δ³⁴S变化于3.7‰ ~10.2‰,峰值为6.5‰,与蒙库铁矿相似,表明硫



图 7 乌吐布拉克铁矿床斜长角闪岩、砂卡岩及矿石 (La/Yb)、(La/Sm)、图解

Fig. 7 (La/Yb) λ (La/Sm) diagram of amphibolites , skarns and ores from the Wutubulake iron deposit



iron deposit

来自矿体围岩火山岩。

以上分析表明,乌吐布拉克铁矿矿区斜长角闪 岩、含磁铁矿石榴子石矽卡岩、绿帘石矽卡岩及矿石 的稀土元素配分模式均主要表现为轻稀土元素相对 富集型 出现 Eu 正异常及 Ce 负异常 表明它们具有 同源性 即具有相似的成因机制。乌吐布拉克矽卡 岩稀土元素配分模式与被认为是岩浆成因的长江中 下游东狮子山、伏牛山、西狮子山和胡村 Cu(Au)矿 床的矽卡岩(赵斌等,1999)、内蒙黄冈梁铁锡矿早期 阶段石榴子石(肖成东等,2002)及大冶-武山矿化矽 卡岩(赵劲松等 2007)的稀土元素配分模式相似 ;矿 石的稀土元素配分模式与矽卡岩成因的新疆维权银 多金属矿床(冯京等,2008)的岩(矿)石稀土元素模 式具有相似性,与铜陵狮子山铜金矿床矽卡岩阶段 (徐晓春等 2009)矿石稀土元素模式也很类似,而与 喷流沉积成因的甘肃镜铁山铁铜矿床(毛景文等, 2003) 东沟坝金属矿床(丁振举等 2003) 可可塔勒 铅锌矿床(王书来等,2004)、锡铁山铅锌矿床(祝新 友等 2007)及火山沉积成因的山东韩旺条带状铁矿 床(沈其韩等 ,2009)矿石稀土元素配分模式有一定 的差异。

通过以上稀土元素配分模式特征对比,表明乌 吐布拉克铁矿成因类型为矽卡岩型,成矿物质来源 于斜长角闪岩,岩浆热液流体交代斜长角闪岩及灰 岩形成了一套矽卡岩矿物组合,在矽卡岩退化变质 过程中形成了磁铁矿,这与野外见到的含有团块状 及浸染状磁铁矿矽卡岩交代斜长角闪岩的地质现象 相吻合。

6 结 论

(1)矿区变质火山岩围岩的稀土元素配分曲线 为轻稀土元素相对富集型,具有中等程度的 Eu 负异 常及中等程度的 Ce 负异常;斜长角闪岩、含磁铁矿 石榴子石矽卡岩、绿帘石矽卡岩及矿石的稀土元素 配分曲线表现出相似性,多为轻稀土元素相对富集 型,具有强的 Eu 正异常及中等程度的 Ce 负异常,表 明它们之间存在成因联系。

(2) 砂卡岩及矿石均出现强的 Eu 正异常及弱 Ce 负异常,表明它们是由一种高温、铕强烈富集的 岩浆流体在氧化环境下形成的。

(3)结合矿床地质特征,推断乌吐布拉克铁矿 床成矿物质来源为斜长角闪岩,磁铁矿的形成与矽

卡岩化密切相关 矿床类型为矽卡岩型铁矿。

志 谢 野外期间得到新疆富蕴县金宝矿业公 司谢梦华总工程师,金山矿冶公司黄智丽技术员及 公司领导的大力支持和帮助,稀土元素测试由国家 地质实验测试中心完成,在此一并致以衷心的感谢。

References

- Bau M. 1991. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significance of the oxidation state of europium[J]. Chemical Geology , 93 : 219-230.
- Bibikova Y E , Kirnozova T I , Kozakov I K , Kotov A B , Neymark L A , Gorokhovskiy B M and Shuleshko I K. 1992. U-Pages for polymetamorphic complexes on the southern Flank of the Mongolian and Gobi Alta[J] Geotectonics , 26 : 166-172.
- DeBaar H J W, BaconM P and Brewer P G. 1985. Rere earth elements in the Pacific and Atlantic oceans J J. Geochim. Cosmochim. Acta, 49:1943-1959.
- Ding Z J , Liu C Q , Yao S Z , Zhou Z G and Yang MG. 2003. The REE constraints on ore sources of the Donggouba polymetallic deposit J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 33(4): 437-442 (in Chinese with English abstract).
- Feng J , Gao Y B , Wang L , Li W Y , Zhang Z W and Tan W J. 2008. Geological characteristics and prospecting orientation of Weiquan silver-polymetallic deposit , Xinjiang[J]. Mineral Deposits , 27(5): 559-569 (in Chinese with English abstract).
- Frietsch R and Perdahl J A. 1995. Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types [J]. Ore Geology Reviews, 9:489-510.
- Ge C H and Han F. 1984. Geochemistry of rare earth elements in the Makeng iron deposi**[** J]. Mineral Deposits , 3(1):1-10(in Chinese with English abstract).
- Hanson G N. 1980. Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems [J]. Ann. Rev. Earth & Planet Sci1, 8:371-406.
- Hass J R , Shock E L and Sassani D C. 1995. Rare earth elements in hydrothermal systems : Estimates of standard partial modal thermodynamic properties of aqueous complexes of the rare earth elements at high pressures and temperatures J J. Geochim. Cosmochim. Acta , 59(21):4329-4350.
- He G Q , Cheng S D , Xu X , Li J Y and Hao J. 2004. An introduction to the explanatory text of the map of tectonics of Xinjiang and its neighbouring areas [M]. Beijing : Geol. Publ. House. 1-65 (in Chinese with English abstract).
- Henderson P. 1984. Rare earth element geochemistry [M]. New York : Elsevier Science Publishers B V. 10.
- Hu X P. 2004. Geological features and genesis of the Mengku iron deposit in the Fuyun , Xinjiang J J. Xinjiang Non-Ferrous Metals , 1 : 2-5 , 8 (in Chinese with English abstract).

2011 年

- Jahn B M. 1998. Continental growth in the Phanerozoic : Evidence from the East-Central Asia orogenic belt[A]. Abstracts of IGCP-420 First Workshop[C]. Urumqi. 1-2.
- Klinkhammer G P , Elderfield , Edmond J M , et al. 1994. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluid from mid-ocean ridges J]. Geochim. Cosmochim. Acta , 58 (23): 5105-5113.
- Kravchuk I F , Malinin S D and Varezhkina N S. 1989. Experimental study of the partitioning of europium between silicate melt and fluid at 800°C and 1.5 kbal J J. Geokhimiya , 1989 12):1771-1781.
- Li H M, Shen Y C, Mao J W, Liu T B and Zhu H P. 2003. REE features of quartz and pyrite and their fluid inclusions : An example of Jiaojia-type gold deposits, northwestern Jiaodong peninsula[J]. Acta Petrologica Sinica, 19(2): 267-274 (in Chinese with English abstract).
- Li H M , Wang D H , Zhang C Q , Chen Y C and Li L X. 2009. Characteristics of trace and rare earth elements in minerals from some typical lead-zinc deposits of Shanxi Province[J]. Mineral Deposits , 28 (4):434-448 (in Chinese with English abstract).
- Li J X, Jiang J, Hu X P, Kang J C and Yin Y Q. 2003. Geological features and genesis of the Mengku iron deposit in the Fuyun Xinjiang
 [J]. Xinjiang Geology , 21(3): 307-311 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W , Zhang Z C , Yang J M , Zuo G C , Zhang Z H , Ye D J , Wang Z L , Ren F S , Zhang Y J , Peng C , Liu Y Z and Jiang M. 2003. Minerogenetic series of Cu , Fe , Au , W deposits and prospecting evaluation in the west sector of the northern Qilian mountains M l. Beijing : Geol. Pub. House. 157-239 (in Chinese).
- Qiu Z X. 2003. Analysis on genesis and geological characteristics of Mengku iron deposit in fuyun county, Xinjiang Autonomous Region
 [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18
 (Supp.):110-114 (in Chinese with English abstract).
- Shen Q H, Song H X and Zhao Z R. 2009. Characteristics of rare earth elements in Hangwang Neo-Archaean banded iron formaitions, Shandong Province J. Acta Geoscientica Sinica, 30(6): 693-699 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R and Mclenann S M. 1985. The continental crust : Its composition and evolution. Blackwel[M]. London : Oxford Press. 1-312.
- Tong Y , Wang T , Hong D W , Dai Y J , Han B F and Liu X M. 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica , 23(8):1933-1944 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H , Chen Y C , Xu Z G , Li T D and Fu X J. 2002. Minerogenetic series and regularity of mineralization in the Altai metallogenetic Province , China , Beijing M J. Beijing : Atomic Press. 1-493 (in Chinese).
- Wang S L , Wang J B , Peng S L , Guo Z L and Qiu Y J. 2004. REE geochemistry of ore fluids in the Koktag lead-zinc deposit ,Xinjiang [J]. Geology in China , 31(3): 308-314 (in Chinese with English abstract).
- Wang T , Hong D W , Jahn B M , Tong Y , Wang Y B , Han B F and

Wang X X. 2006. Timing , petrogenesis , and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains , Northwest China : Implications for the tectonic evolution of an accretionary oroger[J]. The Journal of Geology , 114 :735-751.

- Wang Y W , Wang J B , Wang S L , Ding R F and Wang L J. 2003. Geology of the Mengku iron deposit , Xinjiang , China-a metamorphosed VMS?[A]. In : Mao J W , Goldfarb R J , Seltmann R , Wang D H , Xiao W J , Hart C , eds. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. proceedings volume of the International Symposium of the IGCP-473 project in Urumqi and guidebook of the field excursion in Xinjiang , China : August 9-21 , 2003[C]. London : Centre for Russian and Central Asian Mineral Studies , Natural History Museum. 181-200.
- Wang Z G , Yu X Y and Zhao Z H. 1989. Geochemistry of ree earth elements M J. Beijing : Sciences Press. 1-535 (in Chinese).
- Xiao C D and Liu X W. 2002. REE geochemistry and origin of skarn garnets from eastern Inner Mongolia J]. Geology in China , 29(3): 311-316 (in Chinese with English abstract).
- Xu L G , Mao J W , Yang F Q , Ye H S , Zheng J M , Li J G , Cai Y B , Zha X L and Gao J J. 2007a. Skarn characteristics of Mengku iron deposits in Xinjiang , and its geological significance J]. Mineral Deposits , 26(4):455-463 (in Chinese with English abstract).
- Xu L G Mao J W , Yang F Q , Li J G , Cai Y B , Zheng J M and Huang C L 2007b. Geology and geochemistry of the Mengku iron deposit in Fuyun county ,Xinjiang Uigur Autonomous J]. Acta Petrologica Sinica , 23 (10): 2653-2664 (in Chinese with English abstract).
- Xu X C , Zhao L L , Xie Q Q , Zhu P L , Fang H B and Wang W J. 2009. Rare earth elements of ores in gold deposits and copper deposits of Shizishan ore-field , Tongling region , Anhui Province[J]. Geologica Journal of China Universities , 15(1): 35-47 (in Chinese with English abstract).
- Yan S H, Zhang Z C, Wang Y T, Chen B L, Zhou G and He L X. 2005. REE geochemistry of Qiaoxiahala type Fe-Cu deposits in southern margin of Altay Mountains, Xinjiang, and its geological implication. J J. Mineral Deposits, 24(1): 25-32 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q , Mao J W , Xu L G , Zhang Y , Liu F , Huang C L , Zhou G , Liu G R and Dai J Z. 2007. REE geochemistry and the indication for iron mineralization of Mengku iron deposit in Xinjiang J]. Acta Petrologica Sinica , 23(10): 2443-2456 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q , Mao J W , Yan S H , Liu F , Chai F M , Zhou G , Liu G R , He L X , Geng X X and Dai J Z. 2008a. Geochronology , geochemistry and geological implications of the Mengku synorogenic plagiogranite pluton in Altay , Xinjiang J]. Acta Geologica Sinica , 82 (4):485-499 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q , Mao J W , Chai F Mei , Liu F , Zhou G , Geng X X , Liu G R and Xu L G. 2008b. The ore-forming fluids and metallogenesis of the Mengku iron deposit in Altay , Xinjiang[J]. Mineral Deposits , 27(6):659-680 (in Chinese with English abstract).
- Yang X L , Zhu M Y , Zhao Y Y , Zhang J M , Guo Q J and Pi D H.

2008. REE geochemical characteristics of the Ediacaran-Lower Cambrian black rock series in Eastern Guizhou[J]. Geological Review , 54(1):3-15(in Chinese with English abstract).

- Yang Y M, Tu G Z and Hu R Z. 2004. REE geochemistry of Yingchang Fe-Cu-REE deposit in Yunnan Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 24(3): 301-308 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J Z , Feng B H , Jin H J , Liu B , Luo Y P , Jin Z M , Zhu M Z and Chen S Z. 1987. The genetic relationship between marine volcanic rocks and iron deposit at Abagong-mengku area , Altay district , Xinjiang and ore-forming geological features [J]. Bulletin of Xi an Institute of Geology and Mineral Resources , CAGS , 20 : 89-180 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z F. 2003. Analysis of characteristics of typical Fe deposit in Altai region, Xinjiang and their genesis and potentia[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18(Supp.): 80-83 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z X, Yang F Q, Chai F M, Liu F, Geng X X, Lv S J, Jiang L P and Zhong T Z. 2011. The study on chronology and genesis of the granite from the Wubulake iron deposit district in the southern margin of Altay[J]. Geological Review, (in press).
- Zhao B , Zhao J S and Liu H C. 1999. REE geochemistry for vein calcareous skarns from some iron-copper(gold) deposits along the Middle-Lower Reaches of the Yangtze River[J]. Geochimica , 28(2): 113-125 (in Chinese with English abstract).
- Zhao J S, Qiu X L, Zhao B, Tu X L, Yu J and Lu T S. 2007. REE geochemistry of mineralized skarns from Daye to Wushan region, Ching J J. Geochimica, 36(4): 400-412 (in Chinese with English abstract).
- Zheng C Q , Xu X C , Kato T and Enami M. 2007. Permian CHIME ages of monazites for the kyanite-sillimanite type metamorphic belt in Chonghuer area , Altai , Xingjiang and their geological implications [J]. Geological Journal of China Universites , 13(3): 566-573(in Chinese with English abstract).
- Zhu X Q and Wang Z G. 1994. Geochemical characteristics of hydrothermal sedimentary in Chongsheng Sea[A]. In : Hu R Z. Geochemical study of ore deposits[C]. Beijing : Seismological Press. 108-112 (in Chinese).
- Zhu X Y , Deng J N , Wang J B , Lin L J , Fan J C and Sun S Q. 2007. Study on Marble of the Xitieshan lead-zirc SEDEX deposit , Qinghai Province interaction between exhaled brine and seawater[J]. Geological Review , 53(1):52-64 (in Chinese with English abstract).
- Zhuang Y X. 1994. Tectonothermal evolution in space and time and orogenic process of Alitaide , China M J. Changchun : Jilin Science and Technology Press. 70-106 (in Chinese).

附中文参考文献

丁振举,刘丛强,姚书振,周宗桂,杨明国.2003.东沟坝多金属矿 床矿质来源的稀土元素地球化学限制[j].吉林大学学报(地球 科学版),33(4):437-442.

- 冯 京,高永宝,王 磊,李文渊,张照伟,谭文娟. 2008.新疆维 权银多金属矿床地质特征及找矿方向[J].矿床地质,27(5): 559-569.
- 葛朝华,韩 发.1984.马坑铁矿床稀土元素地球化学研究[J].矿 床地质,3(1):1-10.
- 何国琦,成守德,徐 新,李锦轶,郝 杰. 2004. 中国新疆及邻区 大地构造图(1:2500000)说明书[M]. 北京:地质出版社. 1-65.
- 胡兴平. 2004. 新疆富蕴县蒙库铁矿区地质特征及成因浅机 J]. 新 疆有色金属,1:2-5,8.
- 李厚民, 沈远超, 毛景文, 刘铁兵, 朱和平. 2003. 石英黄铁矿及其 包裹体的稀土元素特征-以胶东焦家式金矿为例[J]. 岩石学报, 19(2):267-274.
- 李厚民,王登红,张长青,陈毓川,李立兴.2009.陕西几类重要铅 锌矿床的矿物微量元素和稀土元素特征[J].矿床地质,28(4): 434-448.
- 李嘉兴,姜 俊,胡兴平,康吉昌,尹意求. 2003. 新疆富蕴县蒙库 铁矿床地质特征及成因分析[J]. 新疆地质,21(3):307-311.
- 毛景文,张招崇,杨建民,左国朝,张作横,叶得金,王志良,任丰 寿,张玉君,彭 聪,刘煜洲,姜 枚.2003.北祁连山西段铜 金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价[M].北京:地质出版 社.157-239.
- 仇仲学. 2003. 新疆富蕴县蒙库铁矿床地质特征与成因分析[J]. 地 质找矿论丛, 18(增刊):110-114.
- 童 英,王 涛,洪大卫,代雅建,韩宝福,柳晓明. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J].岩石学报,23(8):1933-1944.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的 成矿系列及成矿规律 M]. 北京:原子能出版社. 1-493.
- 王书来,王京彬,彭省临,郭正林,仇银江.2004.新疆可可塔勒铅 锌矿床成矿流体稀土元素地球化学特征[J].中国地质,31(3): 308-314.
- 王中刚,于学元,赵振华,等. 1989.稀土元素地球化学[M].北京: 科学出版社.1-535.
- 肖成东,刘学武.2002.东蒙地区夕卡岩石榴石稀土元素地球化学及 其成因[J].中国地质,29(3):311-316.
- 徐林刚,毛景文,杨富全,叶会寿,郑建民,李建国,蔡永彪,查小 玲,高建京.2007a.新疆蒙库铁矿床砂卡岩矿物学特征及其意 义[J].矿床地质,2c(4):455-463.
- 徐林刚,毛景文,杨富全,李建国,蔡永彪,郑建民,黄成林. 2007b.新疆富蕴县蒙库铁矿地质、地球化学特征[J].岩石学报,23(10):2653-2664.
- 徐晓春,赵丽丽,谢巧勤,褚平利,房海波,王文俊.2009. 安徽狮 子山矿田金矿床和铜矿床稀土元素地球化学元素地球研究[]]. 高校地质学报,15(1):35-47.
- 闫升好,张招崇,王义天,陈柏林,周 刚,何立新.2005.新疆阿 尔泰南缘乔夏哈拉式铁铜矿床稀土元素地球化学特征及其地质 意义[J].矿床地质,24(1):25-32.

杨富全,毛景文,徐林刚,张岩,刘锋,黄成林,周刚,刘国

仁,代军治.2007.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,23(10):2443-2456.

- 杨富全,毛景文,闫升好,刘 锋,柴凤梅,周 刚,刘国仁,何立 新,耿新霞,代军治.2008a.新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗 岩年代学、地球化学及其地质意义[J].地质学报,82(4):485-499.
- 杨富全,毛景文,柴风梅,刘 锋,周 刚,耿新霞,刘国仁,徐林 刚. 2008b.新疆阿尔泰蒙库铁矿床的成矿流体及成矿作用[J]. 矿床地质,27(6):659-680.
- 杨兴莲,朱茂炎,赵元龙,张俊明,郭庆军,皮道会.2008.黔东震旦 系-下寒武统黑色岩系稀土元素地球化学特征[]].地质论评,54 (1):3-15.
- 杨耀民,涂光炽,胡瑞忠.2004. 迤纳厂稀土铁铜矿床稀土元素地球 化学[J].矿物学报,24(3):301-308.
- 张建中,冯秉寰,冯秉寰,金浩甲,刘 斌,罗玉鹏,金志明,朱美珠,陈书章.1987.新疆阿尔泰阿巴宫-蒙库海相火山岩与铁矿的成生关系及成矿地质特征[J].中国地质科学院西安地质研究所所刊,20:89-180.
- 张振福. 2003. 新疆阿尔泰一带典型铁矿床特征、成因及找矿前景分 庄玉勋. 1994. 杭 J l. 地质找矿论丛, 18(増刊): 80-83. 长春:吉執

- 张志欣,杨富全,柴凤梅,刘 锋,耿新霞,吕书君,姜丽萍,钟天 智.2011.阿尔泰南缘乌吐布拉克铁矿花岗岩年代学及地球化 学研究[J].地质论评(出版中).
- 赵 斌,赵劲松,刘海臣.1999. 长江中下游地区若干 Cu(Au) Cu-Fe(Au)和 Fe 矿床中钙质夕卡岩的稀土元素地球化学[J]. 地球 化学,28(2):113-125.
- 赵劲松,邱学林,赵 斌,涂湘林,虞 珏,芦铁山.2007.大冶-武 山矿化夕卡岩的稀土元素地球化学研究J].地球化学,36(4): 400-412.
- 郑常青,徐学纯,Kato Takenori,Enami Masaki. 2007. 新疆阿尔泰冲 乎尔地区蓝晶石-夕线石型变质带独居石 CHIME 二叠纪年龄及 其地质意义[J]. 高校地质学报,13(3):566-573.
- 朱笑青,王中刚.1994. 冲绳海槽热水区沉积物的地球化学特征 [A].胡瑞忠. 矿床地球化学研究[C].北京:地震出版社.108-112.
- 祝新友,邓吉牛,王京彬,林龙军,樊俊昌,孙淑秋.2007.锡铁山 喷流沉积矿床卤水与海水的相互作用[]].地质论评,53(1);52-64.
- 庄玉勋. 1994. 中国阿尔泰造山带热动力时空演化和造山过程[M]. 长春:吉林科学技术出版社. 70-106.