

文章编号 10258-7106(2007)04-0455-09

新疆蒙库铁矿床矽卡岩矿物学特征及其意义*

徐林刚¹, 毛景文^{1,2}, 杨富全², 叶会寿², 郑建民¹, 李建国³, 蔡永彪³,
查小玲³, 高建京¹

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3 新疆地质矿产勘探开发局第四地质大队, 新疆 阿尔泰 836500)

摘要 蒙库铁矿床是一个以下泥盆统斜长角闪变粒岩(原岩为火山岩)为围岩的大型矽卡岩型矿床, 矽卡岩矿物组合为辉石、石榴子石和方柱石, 退化蚀变岩的组成矿物为角闪石、绿帘石、绿泥石、磷灰石等。电子探针分析结果表明, 矽卡岩矿物中单斜辉石以透辉石为主, 仅存在少量普通辉石; 石榴子石端员组分以钙铁榴石为主, 伴以少量钙铝榴石和锰铝榴石; 角闪石属于单斜角闪石中的阳起石。蒙库铁矿床的矽卡岩与正常的矽卡岩矿床形成方式不同, 不是中酸性岩浆与碳酸盐地层接触交代的产物, 而是由热流体沿裂隙交代火山变质岩形成的。

关键词 地质学, 矽卡岩, 磁铁矿, 电子探针分析, 蒙库, 新疆

中图分类号: P618.31 文献标识码: A

Skarn mineral characteristics of Mengku iron deposit in Xinjiang and their geological significance

XU LinGang¹, MAO JingWen^{1, 2}, YANG FuQuan², YE HuiShou², ZHENG JianMin¹, LI JianGuo³,
CAI YongBiao³, ZHA XiaoLing³ and GAO JianJing¹

(1 State Key Laboratory of Geo-Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 No. 4 Geological Party, BGMRED of Xinjiang,
Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract

The Mengku iron deposit is a large skarn deposit hosted by Lower Devonian skarnized plagioclase-amphibole metadolerite (originally volcanic rock). Its skarn mineral assemblage consists of pyroxene, garnet and amphibole, and its retrograde minerals include chlorite, epidote, apatite, scapolite etc. Electron microprobe analyses show that the clinopyroxene comprises mainly diopside, with minor augite in skarn. The end member of garnet is dominated by andradite, with minor grossular and spessartine. The amphibole in the Mengku iron deposit is actinolite belonging to ferro-edenite. Although skarn in the Mengku iron deposit might have resulted from hydrothermal interaction with the meta-volcanic rock, the characteristics of skarn minerals such as the evolution process and the geochemical component are similar to things of normal skarn.

Key words: geology, skarn, magnetite, electron microprobe analysis, Mengku, Xinjiang

* 本文得到国家自然科学基金项目(40672065)、国家科技计划项目(2006BAB07B02-01)和国土资源大调查项目(1212010561506)的资助
第一作者简介: 徐林刚, 男, 1981年生, 在读硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: xulingang@sina.com
收稿日期: 2007-02-09; 改回日期: 2007-04-13。张绮玲编辑。

蒙库铁矿床是赋存于阿尔泰山南缘早泥盆世变质火山岩地层中的大型磁铁矿型矿床。自20世纪50年代发现以来,许多研究人员对该矿床的地质特征、地质构造、矿床成因以及勘查地球物理和地球化学等做了研究(李嘉兴等,2003;仇仲学,2003;张建中等,1987;Wang et al.,2003;胡兴平,2004)。但是研究重点主要集中在对矿床地质的基本特征描述和探讨矿床成因上。关于矿床成因有火山喷流沉积型、火山沉积变质型(BIF型)、铁矿浆喷溢型及矽卡岩型之争(Wang et al.,2003;张建中等,1987;胡兴平,2004;仇仲学,2003)。对于该矿区内的岩石学和矿物学的研究十分薄弱,特别是对矽卡岩的研究基本为空白,而矿区矽卡岩广泛出露,其成因及其与铁矿床的关系是解决成因之争的关键。近年来,对矽卡岩型矿床中矽卡岩矿物的研究取得了一些进展(Einaudi et al.,1981;1982;毛景文等,1997;Xu et al.,2000)。本文通过电子探针仪对蒙库铁矿床中的矽卡岩矿物成分进行了系统的研究,为进一步研究该矿床的成矿机制奠定了重要的基础。

1 成矿地质背景

蒙库铁矿床地处阿尔泰山南麓,位于西伯利亚古板块的西南缘。阿尔泰山造山带是一个铜、镍、金、铅、锌、铁及稀有金属成矿带(祁志明等,1996;王京彬等,1998;叶庆同等,1998),蒙库铁矿区位于阿尔泰山造山带中段,喀拉额尔齐斯褶皱带的次级巴拉额尔复背斜和克兰复向斜的接合部位的南侧(李天德等,2001),即在晚古生代火山弧麦兹古火山-沉积盆地的北西部麦兹复式向斜北东翼之次级褶皱——铁木下尔袞向斜中。区内出露地层主要为中上志留统松克木群、下泥盆统康布铁堡组和中泥盆统阿勒泰组。松克木群原岩为一套浅海-滨海相碎屑沉积建造,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。康布铁堡组分为上、下2个亚组,是铁矿体的赋矿围岩,分布于矿区中南部,厚度大于1200m,为一套火山-沉积变质岩系,由角闪岩、角闪斜长岩、角闪麻粒岩、角闪浅粒岩、麻粒岩、浅粒岩、透辉石岩、大理岩等组成,其原岩为富含铁镁质的中基性火山熔岩、酸性火山岩、火山凝灰岩和碱性岩以及富钙的海相碳酸盐岩(张建中等,1987)。康布铁堡组下亚组分为3个岩性段:第一段由条带状不纯大理岩、透辉石大理岩组成,呈细小的

窄带状展布在矿区东北部及西南部,延伸比较稳定;第二段以浅灰白色、灰-深灰色条带状角闪斜长变粒岩、磁铁变粒岩为主,夹斜长角闪片麻岩、黑云母片岩、大理岩及贫铁矿条带;第三段以黑云角闪斜长片麻岩、带状角闪变粒岩为主,夹角闪变粒岩、磁铁变粒岩、黑云母片岩和大理岩、磁铁石榴石岩,是区内主要赋矿层位。各岩性之间多为渐变过渡关系。康布铁堡组上亚组主要分布于矿区的西南角,岩性为变质的凝灰质砂岩、浅粒岩、含砾砂岩、泥质砂岩、粉砂岩夹大理岩透镜体。

区域内褶皱、断裂构造发育。褶皱构造为紧闭线型复式褶皱,形态复杂且多被岩体和断层破坏。主构造线为NW向、NE向、NNW向断裂横切NW向断裂。

区域内岩浆岩十分发育,分布广泛,主要为海西期花岗岩类,Sm-Nd和Rb-Sr等时线年龄为360~290Ma(陈毓川等,1996),少量印支期-燕山期的酸性小岩珠。另外,还有少量的基性岩和中性岩。

2 矿床地质特征

在蒙库铁矿区共发现矿体近30个,矿体在平面上呈薄板状、扁豆状、透镜状及不规则状,在深部可见镰刀状不规则矿体。单个矿体一般数十米宽,最大可达50m,延伸10~800m,深部可达240~400m。矿体整体走向290~300°。1号矿体是蒙库铁矿床最主要的工业矿体,331+332级别储量3500万吨,全铁平均品位41%。1号矿体地表厚度平均40m,总体走向295°左右,倾角68~89°,矿体最大延伸达500m,沿倾向形态较复杂,膨缩、分枝、复合现象常见,具厚度大、中东部延深大、西端翘起、品位变化稳定等特点。

矽卡岩交代角闪变粒岩呈渐变过渡关系,矿体产在矽卡岩中,在角闪变粒岩与矽卡岩的接触带上可见矿物分带现象,依次为角闪变粒岩带、角闪透辉石矽卡岩带、绿帘石透辉石矽卡岩带、透辉石石榴石矽卡岩带和石榴石矽卡岩带。角闪透辉石矽卡岩带矿物组合为角闪石、透辉石、长石、石英、磁铁矿;绿帘石透辉石矽卡岩带矿物组合为绿泥石、绿帘石、透辉石、长石、石英、角闪石和磷灰石;透辉石石榴石矽卡岩带主要由透辉石、石榴子石、绿泥石、绿帘石、角闪石和磁铁矿组成。磁铁矿、方解石、绿泥石交代石榴子石、辉石现象普遍。根据其矿物组合可划分为6

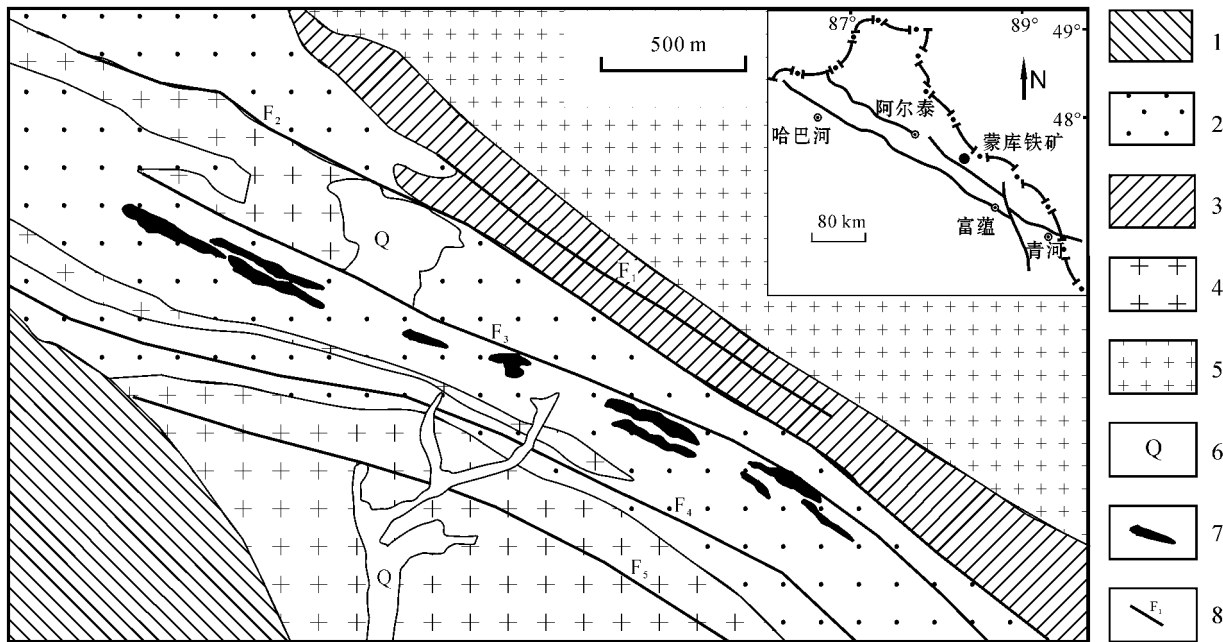


图 1 蒙库铁矿床矿区地质图(据新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队, 2003^①)

1—下泥盆统康布铁堡组上亚组(凝灰质砂岩、浅粒岩) 2—下泥盆统康布铁堡组下亚组(角闪变粒岩、片麻岩) 3—上志留统松克木群(片岩、片麻岩) 4—海西期晚期花岗岩 5—海西期早期花岗岩 6—第四系 7—矿体 8—断层

Fig. 1 Geological sketch map of the Mengku iron deposit (modified from No. 4 Geological Party, BGMRED of Xinjiang, 2003)

1—Lower Devonian Upper Kangbutiebao Formation (tuffaceous sandstone, leucogranulite); 2—Lower Devonian Lower Kanbutiebao Formation (amphibole metadolerite, gneiss); 3—Upper Silurian Songkemu Formation (schist, gneiss); 4—Late Hercynian granite; 5—Early Hercynian granite; 6—Quaternary; 7—Ore body; 8—Fault

种矿化类型,分别为石英角闪磁铁矿石、石英辉石磁铁矿石、黄铜矿磁铁矿石、角闪辉石磁铁矿石、石榴石磁铁矿石和方解石磁铁矿石。其中,石英角闪磁铁矿石为矿区主要矿石类型,为绿黑-铁黑色,多为细粒状变晶结构,块状、稠密浸染状、条带状构造。主要的矿石矿物为磁铁矿、磁赤铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、黄铜矿及少量的白铁矿、斑铜矿、铜蓝、辉铋矿、钛铁矿、孔雀石、黄钾铁矾等,脉石矿物为辉石、角闪石、长石、黑云母、石英、方解石、白云母、石榴子石、磷灰石、绢云母、绿泥石、绿帘石、方柱石等。主要的矿石结构类型有粒状变晶结构、交代残余结构、变余结构和碎裂结构等。构造有块状构造、条带状构造、浸染状构造、次角砾状构造、斑杂状构造等。

根据岩相学特征可将蒙库铁矿床演化过程划分为 3 个阶段:砂卡岩阶段、退化砂卡岩阶段和石英硫化物阶段。砂卡岩阶段主要形成透辉石、石榴子石、方柱石等矿物,退化砂卡岩阶段主要形成绿泥石、绿帘石、角闪石和磁铁矿等,该阶段是磁铁矿形成的主

要阶段,石英硫化物阶段主要生成黄铁矿、赤铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、石英、方解石等。

3 砂卡岩矿物特征

在砂卡岩型矿床的研究中,对砂卡岩矿物化学成分的研究十分重要(Einaudi et al., 1981; 1982)。蒙库铁矿床砂卡岩化明显,石榴子石、辉石、角闪石、绿帘石、绿泥石等砂卡岩矿物广泛发育,它们在空间上与矿体密切共生。矿区内由西向东砂卡岩化增强,1号矿体见少量石榴子石、绿泥石、绿帘石等砂卡岩矿物,9号及以东矿体砂卡岩化则表现得十分强烈,磁铁矿产在砂卡岩中,砂卡岩交代角闪变粒岩呈渐变过渡关系。在蒙库铁矿床形成演化的各个阶段,砂卡岩矿物特征如下。

砂卡岩阶段 该阶段主要形成透辉石、石榴子石等矿物。透辉石多呈半自形-他形粒晶,粒度比较均匀,平均粒度在0.1~0.15mm之间,辉石呈短柱

① 新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队, 2003. 新疆富蕴县蒙库铁矿深部详查总体设计. 内部资料.

状、不规则粒状,浅绿色,有弱的多色性; N_g = 浅褐绿色, N_m = 浅褐色, N_p = 浅绿色,正高突起,辉石式解理清晰,具鲜艳的Ⅱ级干涉色,横断面对称消光。石榴子石呈浅肉红色,单偏光镜下多为褐色、红褐色,极高正突起,无解理,偶见异常干涉色,以钙铁榴石为主,多呈自形-半自形,含少量钙铝榴石和锰铝榴石,粒度不一,粗粒粒径在0.15~0.3 mm之间,细粒粒径近于0.05 mm,粗粒石榴子石可以包裹细粒石榴子石,环带结构比较发育(图2A),反映了石榴子石形成时物理化学条件的改变和石榴子石的形成经历了较长的时间。

退化砂卡岩阶段 主要生成绿泥石、绿帘石、角闪石等矿物。绿泥石呈深绿色,半自形-他形晶,粒度一般在0.1 mm左右。绿帘石为浅绿色,晶体常呈柱状、板状,粒度在0.05~0.15 mm之间。角闪石以阳起石为主,还有部分矿石中主要是透闪石和铁闪石。角闪石的自形程度较高(图2B),镜下多呈长柱状、菱形晶体,薄片为褐色、褐绿色,多色性明显,吸收性为 $N_g > N_m > N_p$,中正突起,闪石式解理完全,最高干涉色达Ⅱ级底部,横切面对称消光,纵切面平行消光,可见简单双晶和聚片双晶。在同一矿石中,可以看到粗粒角闪石穿插交代磁铁矿及其聚合体现象以及角闪石遭受磁铁矿交代的交代结构,使部分角闪石的边缘不甚平直。这一现象反映了角闪石的形成过程比较长,至少包含了2个不同的世代。退化砂卡岩阶段的晚期形成磁铁矿,这是磁铁矿形成的主要时期,磁铁矿呈中细粒自形-半自形粒状结构,磁铁矿交代透辉石现象多见,但也可以见到磁铁矿和透辉石共生,反映了部分磁铁矿与透辉石为近同时生成(图2C)。绿帘石交代、包裹透辉石及磁铁矿的现象普遍,同时又出现了透辉石、石榴子石被磁铁矿交代的现象,表明矿物生成顺序为透辉石→石榴子石→磁铁矿→绿帘石。

石英硫化物阶段 主要生成黄铁矿、赤铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、石英、方解石等,还有晚期的石榴子石脉贯入。石英、方解石主要以脉体的形式贯入裂隙中,脉体大小不一,细脉宽仅几毫米,粗脉粒径可达20~30 cm宽。该阶段的石榴子石与砂卡岩阶段的石榴子石明显不同,呈暗黑色,自形程度高,粒度大,最大粒径可达3 cm,一般在0.5~0.15 cm之间,常产在方解石脉的中间。

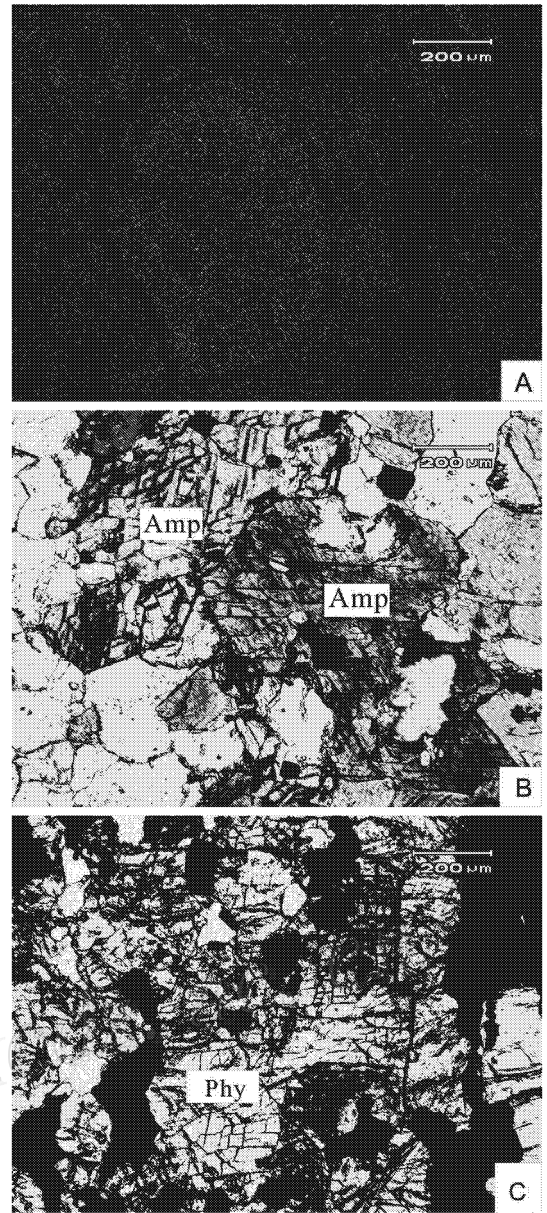


图2 蒙库铁矿床中典型矿物

A—具环带结构的石榴子石(单偏光) B—半自形角闪石颗粒(单偏光) C—磁铁矿与透辉石共生(单偏光)

Fig. 2 Typical minerals of the Mengku iron deposit
A—Zonal texture garnet (under transmitted light); B—Hypidiomorphic amphibole (under transmitted light); C—Magnetite coexisting with clinopyroxene (under transmitted light)

4 电子探针分析

从代表性的样品中挑选辉石、石榴子石、角闪石,在中国地质科学院矿产资源研究所进行电子探

表 1 蒙库铁矿床透辉石的电子探针分析结果 [w(B)%]、阳离子数及端员组分

Table 1 Electron microprobe analyses [w(B)%], ion proportions and end members of the representative clinopyroxenes from the Mengku iron deposit

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TFeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	NiO	K ₂ O	V ₂ O ₃	总和
3	53.65	0.04	2.20	-	13.18	0.32	15.52	10.46	1.10	0.03	0.13	-	96.61
4	53.26	0.03	0.43	-	9.82	0.34	12.30	22.30	0.97	-	-	-	99.42
5	53.00	0.03	0.94	-	10.79	0.27	11.56	21.83	1.14	0.03	-	-	99.59
6	53.35	-	0.58	-	9.64	0.20	12.61	23.39	0.68	-	-	-	100.45
7	52.81	-	0.60	-	9.02	0.17	12.56	23.37	0.65	0.03	-	-	99.21
10	51.19	-	0.80	-	11.16	0.23	11.01	20.61	1.60	0.07	-	-	96.65
11	52.66	-	0.86	-	11.52	0.19	11.16	20.96	1.39	0.02	-	-	98.76
12	52.48	-	0.16	-	11.65	0.54	10.53	23.43	0.41	-	-	-	99.20
13	51.10	-	0.23	-	12.67	0.30	9.57	21.91	1.01	0.01	0.01	-	96.82
26	53.47	-	0.67	0.01	10.91	0.51	11.75	20.08	2.10	-	0.01	-	99.50
30	52.83	-	0.67	-	11.34	0.37	11.39	22.08	1.20	-	-	0.02	99.89
32	52.31	-	0.68	-	11.60	0.43	11.44	21.90	1.20	-	-	-	99.55
33	50.12	0.03	5.11	-	15.45	0.46	13.82	11.27	1.59	-	0.15	-	97.99

以 6 个氧为基准计算的阳离子数

样号	TSi	TAl	M1Al	M1Fe ³⁺	M1Fe ²⁺	M1Mg	M1Ni	M2Fe ²⁺	M2Mn	M2Ca	M2Na	总离子数	Di	Hd	Jo
3	2.059	0.000	0.099	0.000	0.011	0.888	0.001	0.412	0.010	0.430	0.082	3.993	67.2%	32.0%	0.8%
4	2.002	0.000	0.019	0.046	0.245	0.689	0.000	0.018	0.010	0.900	0.070	4.000	68.4%	30.6%	1.0%
5	1.996	0.004	0.037	0.049	0.263	0.649	0.001	0.027	0.009	0.881	0.083	4.000	65.1%	34.1%	0.9%
6	1.986	0.014	0.012	0.051	0.237	0.700	0.000	0.012	0.006	0.933	0.049	4.000	69.5%	29.8%	0.6%
7	1.988	0.012	0.015	0.044	0.235	0.705	0.001	0.005	0.005	0.943	0.047	4.000	70.9%	28.6%	0.5%
10	1.982	0.018	0.019	0.119	0.225	0.636	0.002	0.018	0.007	0.855	0.120	4.000	63.3%	36.0%	0.7%
11	2.001	0.000	0.039	0.062	0.266	0.632	0.000	0.038	0.006	0.853	0.102	4.000	62.9%	36.5%	0.6%
12	2.009	0.000	0.007	0.004	0.369	0.601	0.000	0.000	0.017	0.961	0.030	4.000	60.6%	37.6%	1.8%
13	2.005	0.000	0.011	0.057	0.359	0.560	0.000	0.000	0.010	0.921	0.077	4.000	56.8%	42.2%	1.0%
26	2.000	0.000	0.030	0.122	0.193	0.655	0.000	0.026	0.016	0.805	0.152	4.000	64.7%	33.7%	1.6%
30	1.987	0.013	0.016	0.084	0.261	0.639	0.000	0.011	0.012	0.889	0.087	4.000	63.4%	35.4%	1.2%
32	1.974	0.026	0.004	0.110	0.243	0.644	0.000	0.013	0.014	0.885	0.088	4.000	62.9%	35.8%	1.4%
33	1.902	0.098	0.130	0.090	0.000	0.779	0.000	0.400	0.015	0.458	0.117	3.993	60.7%	38.1%	1.2%

注：表中 TFeO 为全铁氧化物；“-”表示低于检测限；T 为占据硅氧骨干中四面体位置的 Si⁴⁺、Al³⁺；M1 为晶体结构中占据 M1 位置的离子数，其中 3、4、5 和 33 号样品的 M1Ti 为 0.001，其余为 0；M2 为晶体结构中占据 M2 位置的离子数，其中 3 和 33 号样品的 M2K 为 0.007，其余为 0；分析精度为 0.0n%；Di 为透辉石；Hd 为钙铁辉石；Jo 为锰钙辉石；分析者：陈振宇。

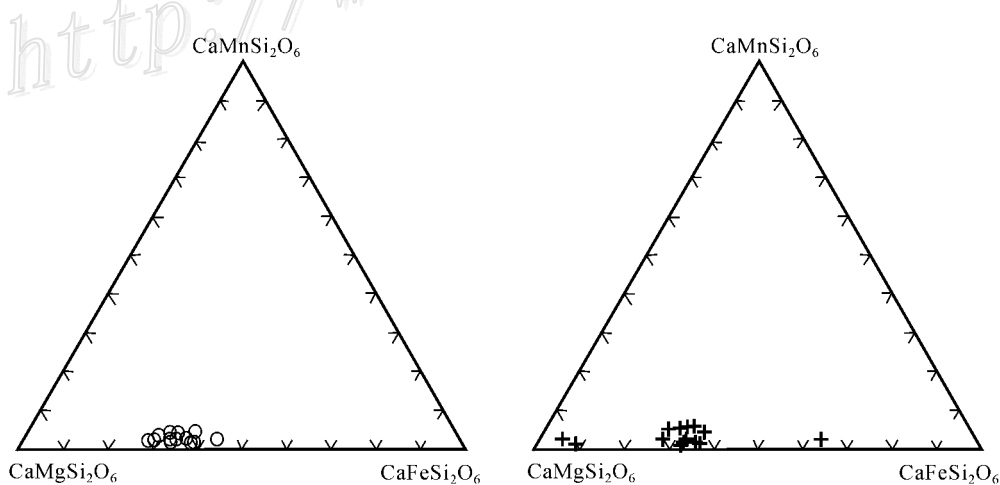


图 3 蒙库铁矿床辉石分类图(底图据 Zhao et al., 2004)

○—蒙库铁矿辉石成分；+—月山砂卡岩铁矿辉石成分

Fig. 3 Classification of clinopyroxenes from the Mengku iron deposit (base map after Zhao et al., 2004)

○—Chemical composition of pyroxene in the Mengku iron deposit；+—Chemical composition of pyroxene from the Yueshan skarn iron deposit

针分析。仪器为 JXA-8800 型电子探针,测试加速电压 20 kV,束电流 20 nA,束斑直径 5 μm 。

蒙库铁矿床 13 件矽卡岩中辉石的电子探针分析结果见表 1,以透辉石为主,含少量普通辉石。透辉石的组分变化在 56.8%~70.95% 之间,钙铁辉石的含量在 28.6%~42.2% 之间(图 3)。早期蚀变作用生成的透辉石是在相当长的时间范围内晶出的,透辉石粒度比较细,且多为他形-半自形粒状结构,致密块状构造。

蒙库铁矿床中石榴子石的电子探针分析结果见表 2。计算得出的榴石的端员组分如图 4 所示,端员组分以钙铁榴石为主,其变化范围为 66.71%~96.97%,平均 84.18%,其次是钙铝榴石,含量多小于 20%。矿区内石榴子石分为粗粒和细粒 2 种,反映了石榴子石晶出的时间也比较长。另外,粗粒的石榴子石常具有环带结构(图 2A)。电子探针数据

(表 2)显示,从内带到外带,石榴子石的成分有所变化,但仅在小范围内波动,变化规律不甚明显,反映了石榴子石形成过程中物理化学环境改变微弱。

蒙库铁矿床中角闪石以阳起石为主,电子探针分析结果见表 3。角闪石多出现在磁铁角闪石岩中,不含矿的围岩中也有出现。根据 Leake(1997)等的分类,所测角闪石都为钙角闪石系列,并且所有的角闪石都落在阳起石区域(如图 5a、5b),其化学成分: $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 0.99%~2.35%, $w(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 为 10.57%~14.43%, $w(\text{MgO})$ 为 10.44%~17.84%, $w(\text{CaO})$ 为 10.78%~20.73%, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 0.71%~1.81%。

5 讨论与结论

尽管前人对于矿床成因有不同的认识(Wang et

表 2 蒙库铁矿床石榴子石电子探针分析结果($w(\text{B})\%$)及端员组分

Table 2 Electron microprobe analyses [$w(\text{B})\%$], ion proportions and end members of the representative garnet from the Mengku iron deposit

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TFeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	NiO	K ₂ O	V ₂ O ₅	总和	
8	36.07	0.10	0.55	-	27.59	0.27	0.04	32.99	-	-	-	-	97.60	
9	35.64	0.01	3.52	-	24.12	0.28	0.05	32.99	-	-	-	-	96.60	
15	35.83	0.15	4.36	-	24.54	0.62	0.05	31.17	-	-	-	-	96.72	
17	35.96	-	7.30	-	19.51	0.36	0.01	33.55	-	-	0.01	-	96.70	
18	35.94	0.01	6.30	-	21.28	0.29	0.01	32.89	0.01	0.01	-	-	96.74	
21	35.32	-	1.86	-	26.01	0.25	-	32.07	-	-	-	0.03	95.53	
22	35.54	-	1.30	-	26.61	0.21	0.01	31.94	0.01	0.01	-	-	95.62	
23	35.80	-	3.46	-	24.61	0.17	0.05	32.19	0.01	0.01	-	-	96.29	
34	36.09	0.07	1.42	-	28.42	0.40	-	31.50	-	0.05	-	0.02	97.97	
35	35.96	0.01	2.71	0.01	25.88	0.80	0.05	32.02	-	0.03	-	-	97.47	
M7	37.43	0.16	4.99	0.01	26.47	0.58	0.71	31.85	-	-	-	-	100.19	
M8	35.18	0.08	3.64	-	28.51	0.46	0.36	30.67	-	-	-	-	98.88	
M9	35.16	0.04	1.49	0.01	28.66	0.24	0.12	32.86	-	-	-	-	98.57	
样号	Si	Ti	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	Cr	And	Gross	Spess	Pyrope
8	3.023	0.006	0.000	1.931	0.000	0.019	0.005	2.962	0.000	0.000	96.97	2.23	0.63	0.18
9	2.983	0.001	0.017	1.686	0.000	0.020	0.006	2.958	0.000	0.000	83.63	15.50	0.67	0.20
15	2.999	0.010	0.001	1.716	0.000	0.044	0.006	2.796	0.000	0.000	79.65	18.60	1.54	0.22
17	2.962	0.000	0.038	1.342	0.000	0.025	0.002	2.960	0.000	0.000	66.71	32.37	0.84	0.06
18	2.975	0.001	0.025	1.471	0.000	0.021	0.002	2.916	0.001	0.000	71.38	27.83	0.70	0.06
21	3.012	0.000	0.000	1.852	0.000	0.018	0.000	2.931	0.000	0.000	90.84	8.54	0.62	0.00
22	3.034	0.000	0.000	1.897	0.000	0.015	0.001	2.921	0.002	0.000	93.57	5.81	0.52	0.04
23	3.010	0.000	0.000	1.728	0.000	0.012	0.006	2.900	0.001	0.000	83.46	15.88	0.42	0.20
34	3.019	0.004	0.000	1.985	0.000	0.028	0.000	2.823	0.000	0.000	93.23	5.76	0.99	0.02
35	3.002	0.000	0.000	1.804	0.000	0.057	0.007	2.864	0.000	0.000	87.09	10.73	1.94	0.23
M7	3.018	0.010	0.000	1.622	0.000	0.040	0.085	2.751	0.000	0.000	77.03	18.62	1.38	2.97
M8	2.963	0.005	0.037	1.824	0.000	0.033	0.045	2.769	0.000	0.000	84.72	12.53	1.15	1.59
M9	2.986	0.003	0.014	1.839	0.000	0.015	0.015	2.990	0.000	0.000	93.00	5.91	0.57	0.50

表中 TFe 为全铁;And 为钙铁榴石,Gross 为钙铝榴石,Spess 为锰铝榴石,Pyrope 为镁铝榴石;“-”表示低于检测限;分析精度为 0.0n%;M7~M9 数据引自张建中等,1987;分析者 陈振宇。

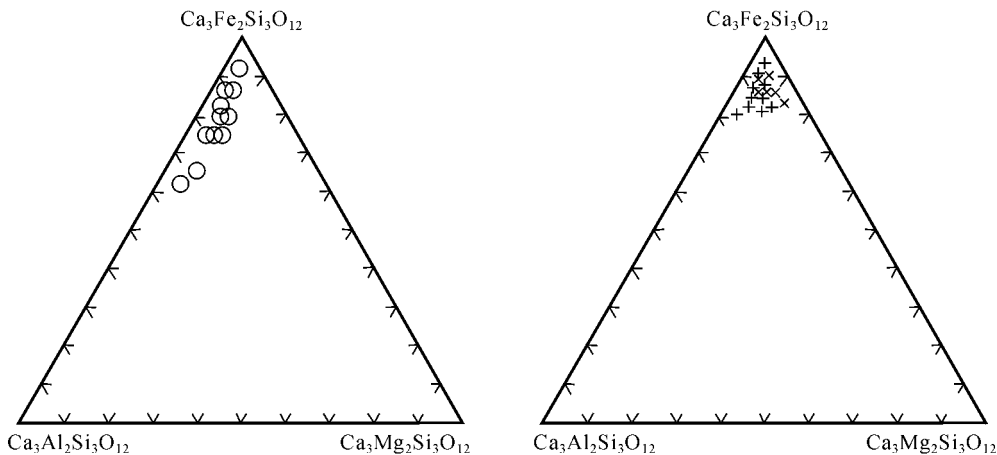


图 4 蒙库铁矿床石榴子石端员组分图解

○—蒙库铁矿石榴子石成分；+—月山砂卡岩铁矿床石榴子石成分；×—安徽长龙山砂卡岩铁矿床石榴子石成分

Fig. 4 End members of garnet from the Mengku iron deposit

○—Chemical composition of garnet from the Mengku iron deposit；+—Chemical composition of garnet from the Yueshan skarn iron deposit；
×—Chemical composition of garnet from the Changlongshan skarn iron deposit

表 3 蒙库铁矿床角闪石的电子探针分析结果($w(B)/\%$)及阳离子数和端员组分

Table 3 Electron microprobe analyses [$w(B)/\%$], ion proportions and end members of the representative hornblende from the Mengku iron deposit

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TFeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	NiO	K ₂ O	V ₂ O ₃	总和
1	53.04	0.13	2.35	0.01	13.64	0.35	14.72	11.56	0.71	0.01	0.17	0.02	96.70
2	53.27	0.18	2.32	—	14.43	0.33	14.67	10.78	1.04	0.03	0.18	—	97.21
19	50.48	0.05	1.79	—	11.78	0.23	10.45	20.73	1.81	0.04	—	—	7.35
20	51.06	0.04	1.70	—	11.68	0.22	10.44	20.52	1.67	0.01	—	0.05	97.37
25	55.12	—	1.05	0.04	10.57	0.49	17.21	11.28	0.73	0.02	0.12	—	96.62
27	55.21	—	0.99	—	10.69	0.49	17.84	11.07	0.78	—	0.12	—	97.20

以 23 个氧为基准计算的阳离子数

样号	TSi	TAl	TTi	CAI	CCr	CTi	CMg	CFe ²⁺	CMn	CCa	BFe ²⁺	BMn	BCa	BNa	ACa	种属
1	7.757	0.243	0.000	0.162	0.002	0.014	3.208	1.614	0.000	0.000	0.054	0.043	1.812	0.091	0.000	阳起石
2	7.765	0.235	0.000	0.163	0.000	0.019	3.187	1.630	0.000	0.000	0.128	0.040	1.684	0.148	0.000	阳起石
19	7.551	0.315	0.005	0.000	0.000	0.000	2.329	1.473	0.030	1.168	0.000	0.000	2.000	0.000	0.153	阳起石
20	7.611	0.298	0.004	0.000	0.000	0.000	2.319	1.456	0.028	1.196	0.000	0.000	2.000	0.000	0.081	阳起石
25	7.928	0.072	0.000	0.106	0.004	0.000	0.369	1.200	0.000	0.000	0.071	0.059	1.738	0.132	0.000	阳起石
27	7.896	0.104	0.000	0.063	0.000	0.000	3.804	1.133	0.000	0.000	0.146	0.059	1.696	0.099	0.000	阳起石

注 表中 TFe 为全铁；“—”表示低于检测限，分析精度为 0.0n%；T 表示 Si、Al、Cr³⁺、Fe³⁺、Ti⁴⁺；C 表示 T 中多余的 Al、Cr³⁺、Fe³⁺、Ti⁴⁺ 和 Mg、Fe²⁺；Mn、B 表示 C 中多余的 Fe²⁺、Mn、Mg、Ca、Na；A 表示 B 中多余的 Na 和全部的 K；分析者：陈振宇。

al., 2003; 张建中等, 1987; 胡兴平, 2004; 仇仲学, 2003), 但是, 广泛发育的砂卡岩及其退化蚀变岩是一个客观存在的事实。与常见的砂卡岩不同, 蒙库矿床中的砂卡岩并不是由花岗岩类与碳酸盐岩交代而成, 而是流体沿裂隙交代火山岩而形成。但是其砂卡岩矿物的化学成分与通常所见的钙质砂卡岩相同, 首先形成石榴子石、辉石等矿物组合, 由于形成环境的氧逸度可能比较高, 在退化蚀变作用之初有大量的绿帘石产出, 接着先后发生以阳起石为代表

和以绿泥石为代表的退化蚀变作用。

Einaudi 等(1981)、Meinert(1989, 1992) 经研究认为, 与砂卡岩型矿床有关的辉石主要为透辉石-钙铁辉石系列, 一般钙铁辉石能占辉石总数的 80% 以上, 其他种类辉石常少于 10%。虽然蒙库铁矿床中砂卡岩的形成作用与通常所见的砂卡岩不同, 但是, 它的砂卡岩的组分与一般砂卡岩没有明显的差别, 其中辉石以透辉石为主, 含少量普通辉石(图 3)。这些特征与海南石碌铁矿、长江中下游砂卡岩型铁矿

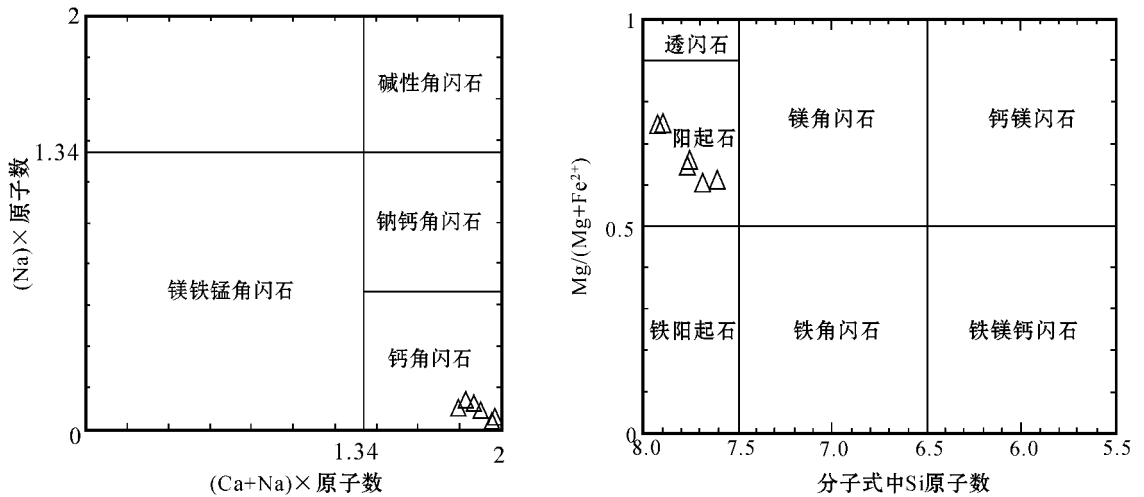


图5 蒙库铁矿床角闪石分类图解(底图据 Leake et al., 1997)

Fig. 5 Classification of amphiboles from the Mengku iron deposit (after Leake et al., 1997)

(如月山矽卡岩型铁矿和安徽长龙山矽卡岩型铁矿)的特征一致(谢家亨等, 1986^①; 赵永鑫, 1992; 束学福, 2004; 中国科学院华南富铁科学研究队, 1986)。蒙库铁矿床中石榴子石的端员组分(图4)显示, 大部分石榴子石为钙铁榴石-铁铝榴石的过渡系列, 其中钙铁榴石约占85%以上, 另外含少量的锰铝榴石和镁铝榴石, 典型的矽卡岩型铁矿如月山铁矿和安徽长龙山铁矿的石榴子石也基本落在这个区域内。而角闪石属于单斜角闪石中的阳起石, 是矽卡岩退化蚀变的产物。这些特点与国内外矽卡岩型铁矿床一致(Xu et al., 2000; Heich et al., 1985), 也与湘南柿竹园钨多金属矿床中的矽卡岩形成演化基本类似(毛景文等, 1998)。

综上所述, 通过对蒙库铁矿床矽卡岩矿物学研究, 得出以下结论:

(1) 尽管蒙库铁矿中的矽卡岩的形成原岩具有明显的特殊性, 但是矽卡岩的形成演化过程及矿物化学成分与常见的矽卡岩基本相同, 主要原生矽卡岩矿物和退化蚀变岩矿物也没有明显的差异。

(2) 电子探针分析结果表明: 蒙库铁矿床中单斜辉石以透辉石为主, 仅存在少量普通辉石; 石榴子石端员组分以钙铁榴石为主, 伴以少量钙铝榴石和锰铝榴石, 角闪石属于单斜角闪石中的阳起石。

(3) 蒙库大型矽卡岩型矿床中矽卡岩不是中酸性岩浆与碳酸盐地层接触发生交代作用而形成的, 而是晚古生代岩浆期后热液与早泥盆世火山岩相互

作用的产物。

致谢 在野外工作期间, 得到新疆地质矿产勘查开发局第四地质大队杨文平、周刚、刘国仁等高级工程师的大力支持和帮助, 审稿人审阅了全文并提出宝贵修改意见, 在此表示衷心感谢。

References

- Chen Y C, Ye Q T, Feng J, Mou C L, Zhou L R, Wang Q M, Huang G Z, Zhuang D Z and Ren B C. 1996. Ore-forming conditions and metallogenic prognosis of the Ashele Cu-Zn metallogenic belt, Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~300 (in Chinese).
- Chou 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.) (in Chinese with English abstract).
- Einaudi M T, Meinert L D and Newberry R J. 1981. Skarn deposits [J]. Econ. Geol., 75: 317~391.
- Einaudi M T and Burt D M. 1982. Introduction-terminology, classification and composition of skarn deposit [J]. Econ. Geol., 77: 745~754.
- Heich C Y. 1985. Geology of the iron deposits in the Lower Yangtze region [J]. Geol. Mem. A., 13: 44~59.
- Hu X P. 2004. Geological characteristic and genesis of Mengku iron deposit in Fuyun county, Xinjiang [J]. Xinjiang Non-ferrous Metals, (1): 2~8 (in Chinese with English Abstract).
- Leake B E, Woolley A R and Arps C E S. 1997. Nomenclature of am-

① 谢家亨, 许超南, 郑颖煜, 王文柱. 1986. 福建龙岩市马坑式铁矿地质特征及成矿地质条件. 福建省地质矿产局闽西地质大队. 内部资料.

- phiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names[J]. *American Mineralogist*, 82: 1019~1037.
- 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).
- Li T D and Polyangsjij B H. 2001. Tectonics and crustal evolution of Altai in China and Kazakhstan[J]. *Xinjiang Geology*, 19(1): 27~32 (in Chinese with English abstract).
- Li Z W and Zhao Z Z. 2002. Creation of the Altai orogenic belt and the Altai metals tectono-metallogenic province[J]. *Chinese Journal of Geology*, 37(4): 101~108(in Chinese with English Abstract).
- Mao J W, Li H Y and Wang P A. 1994. Manganoean skarn in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 13(1): 38~48(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y and Song X X. 1998. Geology and geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi polymetallic deposit, Hunan, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~215(in Chinese).
- Meinert L D. 1989. Gold skarn deposits-geology and exploration criteria [A]. In: Keays R, Ramsay R, Groves D, ed. *The Geology of Gold Deposits*[C]. Monogr: Econ. Geol., 6: 537~552.
- Meinert L D. 1992. Skarns and skarn deposits[J]. *Geosci. Can.*, 19: 145~162.
- Qi Z M and Li T D. 1996. The division of nonferrous metallogenetic belts of Altai in China and Kazakhstan and comparison between these two regions[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 5(5): 206~271(in Chinese with English abstract).
- Scientific Research Team on Rich Iron of South China, CAS. 1986. Hainan geology and geochemistry of Shilu iron deposit[M]. Beijing: Science Press. 218~247(in Chinese).
- Shu X F. 2004. Geology and Geochemistry Characteristics of Anqing Skarn type Fe-Cu deposit and its origin of iron material[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 23(3): 219~224(in Chinese).
- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Li T D and Fu X J. 2002. Metallogenic series and rules of altai metallogenetic province[M]. Beijing: Atomic Energy Press. 1~492(in Chinese).
- Wang J B, Qin K Z, Wu Z L, Hu J H and Deng J N. 1998. Volcanic-exhalative-sedimentary lead-zinc deposits in South Altai, Xinjiang [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~210(in Chinese).
- 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, ed. *Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altai and Tianshan*[C]. London. 181~200.
- Xu G and Lin X. 2000. Geology and geochemistry of the Changlongshan skarn iron deposit, Anhui Province, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 16: 91~106.
- Ye Q T, Fu X J and Wang B L. 1998. Metallogeny of polymetallic metallogenetic belts on the southern margin of the Altai mountains, Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(6): 349~257(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, Altai district, Xinjiang and ore-forming geological features[J]. *Bulletin of Xi'an Institute of Geology Mineral Resources, CAGS*, 20: 89~180(in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M and Li D X. 2004. Pb-Zn-Ag-bearing manganoean Skarns of China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 524~528.
- Zhao Y X. 1992. Mechanisms of formation of the contact iron deposits along the Middle-lower Reaches of the Yangtze River[M]. Wuhan: China University of Geosciences Pub. House. 1~120(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川, 叶庆同, 冯京, 牟传龙, 周良仁, 王全明, 黄光昭, 庄道泽, 任秉琛. 1996. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社. 1~300.
- 仇仲学. 2003. 新疆富蕴县蒙库铁矿区地质特征与成因分析[J]. *地质找矿论丛*, 18(增刊).
- 胡兴平. 2004. 新疆富蕴县蒙库铁矿区地质特征及成因浅析[J]. *新疆有色金属* (1): 2~8.
- 李嘉兴, 姜俊, 胡兴平, 康吉昌, 尹意求. 2003. 新疆富蕴县蒙库铁矿区地质特征及成因分析[J]. *新疆地质*, 21(3): 307~311.
- 李天德, B. H. 波里扬斯基. 2001. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰大地构造及地壳演化[J]. *新疆地质*, 19(1): 27~32.
- 李志文, 赵治忠. 2002. 阿尔泰山带和阿尔泰构造造成矿域的形成[J]. *地质科学*, 37(4): 101~108.
- 毛景文, 李红艳, 王平安. 1994. 湖南柿竹园钨多金属矿床中的锰质矽卡岩[J]. *矿床地质*, 13(1): 38~48.
- 毛景文, 李红艳, 宋学信. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京: 地质出版社. 1~215.
- 祁志明, 李天德. 1996. 中国和哈萨克斯坦阿尔泰有色金属成矿带的划分和对比[J]. *有色金属矿产与勘查*, 5(5): 206~271.
- 束学福. 2004. 安庆矽卡岩型铁铜矿床地质地球化学特征及其铁质来源研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 23(3): 219~224.
- 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. 1~492.
- 王京彬, 秦克章, 吴志亮, 胡剑辉, 邓吉牛. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1~210.
- 叶庆同, 傅旭杰, 王宝良. 1998. 新疆阿尔泰山南缘多金属成矿带的成矿规律[J]. *地质学报*, 72(6): 349~357.
- 张建中, 冯秉寰, 金浩甲, 刘斌, 罗玉鹏, 金志明, 朱美珠, 陈书章. 1987. 新疆阿勒泰阿巴宫-蒙库海相火山岩与铁矿的生成关系及成矿地质特征[J]. *中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊*, 20: 89~180.
- 赵永鑫. 1992. 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. 1~120.
- 中国科学院华南富铁科学研究所. 1986. 海南岛地质与石碌铁矿地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 218~247.