第 30 卷 第 1 期
2011 年 1 月

岩 石 矿 物 学 杂 志
ACTA PETROLOGICA ET MINERALOGICA

Vol. 30, No. 1:97~112
Jan., 2011

内蒙古黄岗锡铁矿床夕卡岩矿物学特征及其成矿指示意义

周振华[1],刘宏伟[2],常帼雄[3],吕林素[4],李 涛[5],杨永军[5],张瑞军[5],纪显合[5]

(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. 内蒙古矿产实验研究所,内蒙古 呼和浩特 010031;3. 内蒙古地质勘查有限责任公司,内蒙古 呼和浩特 010020;4. 中国地质博物馆,北京 100034;5. 内蒙古黄岗矿业有限责任公司,内蒙古 克什克腾旗 016100)

摘 要:为进一步查明黄岗锡铁矿矿床成因、夕卡岩矿物成分与金属矿化类型之间的联系,利用电子探针对研究区主要夕卡岩矿物的化学成分进行了详细的分析。测试结果表明,成矿早期石榴石的端员组分以钙铁榴石为主,主成矿期石榴石的端员组分以钙铝榴石为主;辉石端员组分变化较大,主要为透辉石和钙铁辉石。石榴石和辉石的矿物组分分别为 $Adr_{28.69\sim96.44}Grs_{2.00\sim67.38}(Prp+Sps)_{0.67\sim5.69}$ 和 $Di_{11.8\sim94.12}Hd_{4.08\sim81.28}Jo_{1.79\sim20.02}$,其较大的成分变化特征反映出夕卡岩不是在一个完全封闭的平衡条件下形成的。角闪石大多为镁铁钙角闪石,个别属于铁角闪石,成分变化较大的原因可能是由于氧化还原条件改变导致不同程度的 $Al^{VI}Si\leftrightarrow(Na, K)$ 的置换作用,属于一种固相线下的转变。角闪石中四次配位的 Si、Al 及六次配位的 Al、Ti 和 A 位置的阳离子数变化范围很大,可能是由于接触交代作用过程中岩浆的成分差异或结晶时的物理化学条件改变所引起的。富锰的辉石夕卡岩是岩浆流体顺层间破碎带渗滤交代形成的,富锰辉石可作为本区寻找 Sn、Cu、Zn 等多金属的找矿标志,外接触带夕卡岩和其附近的大理岩中是多金属成矿的有利部位。

关键词:夕卡岩;矿物学;成岩成矿;黄岗锡铁矿;内蒙古

中图分类号:P57;P618.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-6524(2011)01-0097-16

Mineralogical characteristics of skarns in the Huanggang Sn-Fe deposit of Inner Mongolia and their metallogenic indicating significance

ZHOU Zhen-hua[1], LIU Hong-wei[2], CHANG Guo-xiong[3], LÜ Lin-su[4], LI Tao[5], YANG Yong-jun[5], ZHANG Rui-jun[5] and JI Xian-he[5]

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Minerals Experiment Research Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010031, China; 3. Geological prospecting Co., Ltd., Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 4. Geological Museum of China, Beijing 100034, China; 5. Huanggang Mining Co., Ltd., Inner Mongolia, Keshikhteng Banner 016100, China)

Abstract: The Huanggang Sn-Fe deposit is a large-size skarn deposit hosted by Lower Permian marble of Huanggangliang Formation. Its skarn mineral assemblage mainly consists of diopside, andradite-grossular and vesuvianite, and its retrograde minerals include actinolite-tremolite, epidote, chlorite, sericite, grossular etc. Electron microprobe analyses show that the end member of garnet in the early stage is dominated by andradite, while that in the major ore-forming stage is dominated by grossular, and that the end member of pyroxene has changed

收稿日期:2010-09-21;**修订日期**:2010-11-11

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212010010923);内蒙古重要矿产资源潜力评价及区域成矿规律研究项目(2006-02-YS01);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(K0921);中国地质大学(北京)2008 年度优秀博士论文扶持奖励基金项目

作者简介:周振华(1981-),男,博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业,主要从事矿床学和区域成矿规律研究,E-mail:bs9903@163.com。

greatly, composed mainly of diopside and hedenbergite. Components of garnet and pyroxene are $Adr_{28.69\sim96.44}$ $Grs_{2.00\sim67.38}(Prp+Sps)_{0.67\sim5.69}$ and $Di_{11.8\sim94.12}Hd_{4.08\sim81.28}Jo_{1.79\sim20.02}$, respectively, their wide compositional variation range suggests that skarns were not formed under the totally enclosed equilibrium condition. The amphiboles mostly belong to magnesium-ferric-calcium amphibole, with only some individuals being ferric-hornblende. The relatively remarkable change of composition is probably attributed to the change of redox conditions resulting in different degrees of Al^{VI} Si←→(Na, K) displacement, which belongs to the transforming tendency under solidus. Tetrahedral Si, Al, octahedral Al, Ti and cations in A site of amphibole change greatly, which may be caused by the composition difference of the magma in the contact metasomatic process or the change of physicochemical condition during crystallization. Electron microprobe analysis shows that the early skarns in Huanggang belong to the typical oxidation type, while the late skarns transfer to the reduction type. From the viewpoint of mineral assemblages, the skarn assemblage in this area is similar to the calcareous skarn formation. Composition characteristics of skarns in the Huanggang Sn-Fe deposit are similar to those of Cu-Fe deposits of calcareous-magnesian skarn formation, while the altered mineral assemblage is close to W-Sn deposits of the calcareous skarn formation, indicating a new skarn formation. Massive intrusion of granitic magma brought a lot of metallogenic materials and heat energy needed for mineralization. In addition, the well developed faults in the Huanggang ore district also provide a channel for fluid migration. A lot of laminar skarn ores are developed in this area, and as this uniform banded structure cannot be observed in peripheral marbles, these laminar rocks seemed to be a self-organization phenomenon in the process of metasomatism and were not formed by sedimentary-exhalation. Mn/Fe ratios of pyroxenes in the Huanggang ore district range from 0.15 to 0.44, suggesting that the possibility of finding polymetallic mineralization in this area. The johannsenite in pyroxene changes remarkably in composition, and its content ranges from 1.79% to 20.02%. There is no Mn in the marble of Huanggangliang Formation of the ore-bearing strata in the Huanggang Sn-Fe ore district, and the possibility of the derivation of Mn from the strata is very small. In contrast, the pyroxenes are Mn-enriched in the stratiform ore body away from the contact zones or ore bodies containing no Mn. MnO content (0.02%～0.05%) in Huanggang granites is significantly lower than the average content of MnO (0.07%) in A-type granite, and there exist no Mn-enriched accessory minerals such as ilmenite, indicating that there might have been the participation of some Mn composition of granitic magma in the skarn due to contact metasomatism. Therefore, the Mn-enriched pyroxenes probably resulted from the evolution of Mesozoic magmatic fluid, and Mn-enriched pyroxene skarns were formed by infiltration metasomatism of magmatic fluid along fracture zones between layers. These phenomena are similar to things of the skarn Pb-Zn deposits in central Fujian Province. Mn-rich pyroxene might serve as the indications for Sn, Cu, Zn and many other metallic ores in this area, and the outer contact zone of skarn and its periphral marble seem to be favorable positions for polymetallic mineralization.

Key Words: skarn; mineralogy; petrogenesis and mineralization; Huanggang Sn-Fe deposit; Inner Mongolia

大兴安岭位于古生代古亚洲成矿域与中生代滨太平洋成矿域相互叠置部位,是我国16个重点矿产勘查区之一(邵积东等,2007;陈志广等,2008),其南段黄岗梁-乌兰浩特锡铅锌铜多金属成矿带是大兴安岭地区最重要的成矿带之一。区内已探明一批大型-超大型矿床,如黄岗锡铁矿、大井银多金属矿、拜仁达坝银铅锌矿等(图1)。矿床类型众多,有夕卡岩型、斑岩型、次火山热液型、钠长岩型等(赵一鸣等,1997a),其中以夕卡岩型矿床工业前景最好。

黄岗锡铁矿位于大兴安岭南段成矿带的西南端,是我国长江以北最大的锡铁共生矿床,也是内蒙古自治区第二大铁矿。前人对该矿床地质特征、控矿构造、成矿作用及成矿时代等多方面进行了大量研究(张德全等,1993;赵一鸣等,1997a;Ishihara *et al*.,2001;Liu *et al*.,2001;王莉娟等,2001,2002;叶杰等,2002;刘建明等,2004;王长明等,2007;周振华等,2010),而对于本区广泛发育的夕卡岩和退化蚀变岩研究较少。肖成东等(2002)对黄岗锡铁矿石榴

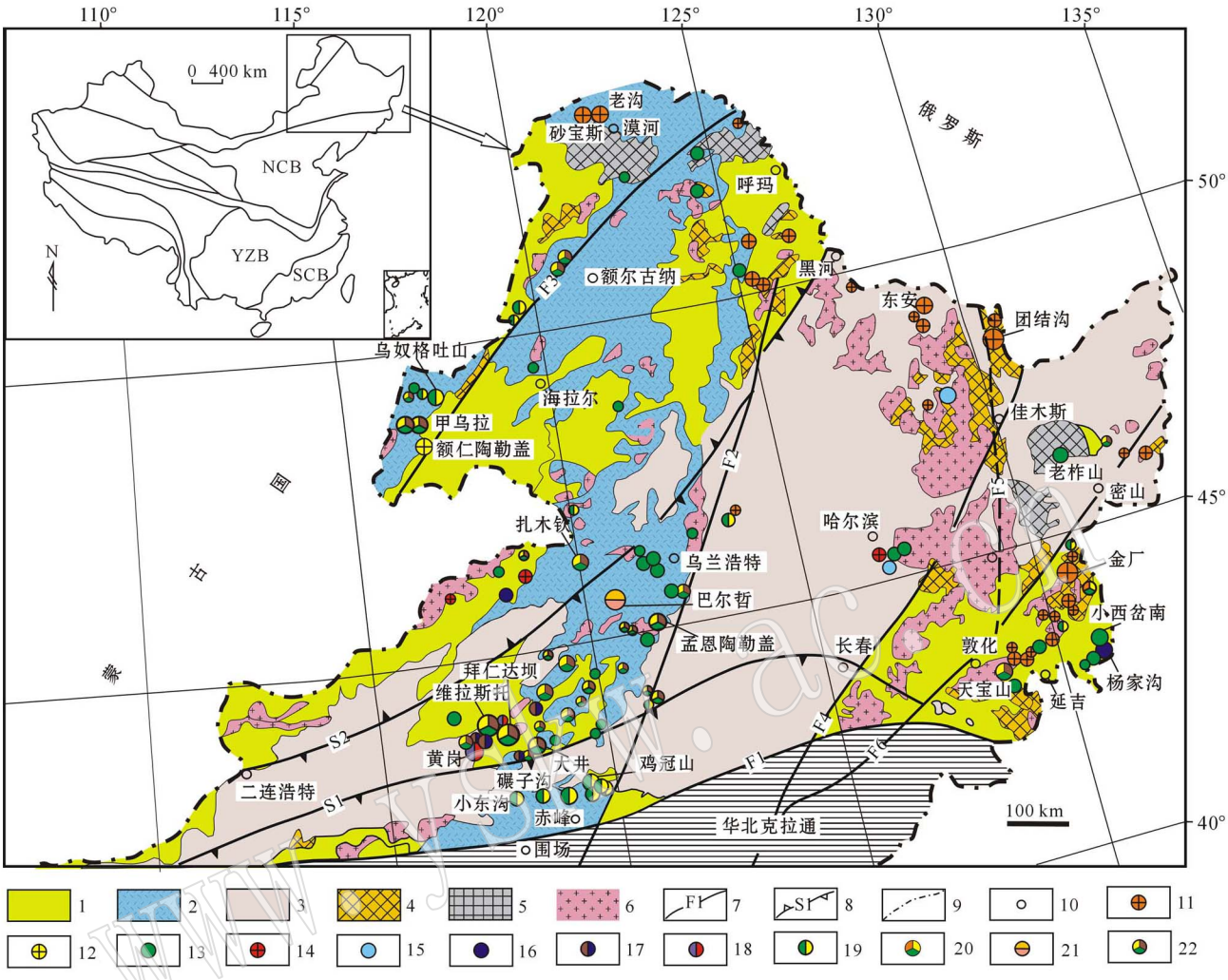

图 1　大兴安岭及其邻区地质矿产分布图[据祁进平等(2005)修改]

Fig. 1　Geological map of the Da Hinggan Mountains and neighboring areas showing distribution of ore resources (modified after Qi Jinping *et al*., 2005)

1—晚古生代地层；2—中生代陆相火山岩和沉积岩；3—新生代沉积盆地；4—前寒武纪岩石；5—早古生代地层；6—中生代花岗岩；7—断裂及编号（F1：康保-赤峰断裂；F2：嫩江断裂；F3：德尔布干断裂；F4：伊兰-伊通断裂；F5：牡丹江断裂；F6：敦密断裂）；8—缝合带及编号（S1：温都尔庙-西拉木伦-延吉缝合线；S2：二连浩特-贺根山-黑河缝合线）；9—国境线；10—主要城市；11—金矿床；12—银矿床；13—铜矿床；14—铁矿床；15—钼矿床；16—钨矿床；17—锡钨矿床；18—锡铁矿床；19—铜钼矿床；20—铂族金属矿床；21—稀土矿床；22—银铅锌矿床；NCB—华北板块；YZB—扬子板块；SCB—华南板块

1—Late Palaeozoic strata; 2—Mesozoic continental volcanic rocks and sedimentary rocks; 3—Cenozoic sedimentary basin; 4—Precambrian rocks; 5—Early Paleozoic strata; 6—Mesozoic granites; 7—fracture and its serial number (F1—Kangbao-Chifeng fracture; F2—Nenjiang fracture; F3—De'erbugan fracture; F4—Yilan-Yitong fracture; F5—Mudanjiang fracture; F6—Dunmi fracture); 8—suture and its serial number (S1—Wendu'ermiao-Xilamulun-Yanji suture; S2—Er'lianhaote-Hegenshan-Heihe suture); 9—national boundaries; 10—major city; 11—Au deposit; 12—Ag deposit; 13—Cu deposit; 14—Fe deposit; 15—Mo deposit; 16—W deposit; 17—W-Sn deposit; 18—Sn-Fe deposit; 19—Cu-Mo deposit; 20—PGE deposit; 21—REE deposit; 22—Ag-Pb-Zn deposit; NCB—North China Block; YZB—Yangtze Block; SCB—South China Block

石矿物学和稀土元素研究后提出了夕卡岩早期为岩浆成因、晚期为热液交代成因、夕卡岩为多期多成因的认识。在夕卡岩型矿床的研究中，对夕卡岩矿物化学成分的研究十分重要（Einaudi *et al*.，1981；Einaudi and Burt，1982）。本文尝试从矿物学角度探讨黄岗锡铁矿的成因及夕卡岩矿物特征与成矿的关系，从而进一步查明其矿床成因，也为本区夕卡岩型矿床的找矿工作提供一定的启示和思路。

1　区域地质背景

本区大地构造归属大兴安岭南段晚古生代增生

造山带，其南北边界分别为康保-赤峰断裂和二连浩特-贺根山-黑河缝合带，东以嫩江断裂为界，向西没有截然的边界(图 1)。区域断裂构造十分发育，与各期褶皱构造紧密伴生，对控岩、控矿具有重要意义。北东向断裂遍布全区，构造形迹突出，规模大者长达百余 km，占有显著地位。北西向断裂与北东向断裂纵横交错，构成格子状❶。区域地层以二叠系和陆相侏罗系最发育，其次还有少量陆相白垩系和新近纪玄武岩、第四系砂砾岩。二叠系上统及下统在本区发育，是组成贯穿全区北东向黄岗梁复式背斜的主体。下统主要由连续的呈单斜产出的三部分组成，即下部青风山组(P_1q)浅海相复理石建造，岩性有砂岩、细粒长石砂岩、粉砂岩、泥质板岩等；中部大石寨组(P_1d)以安山质为主的海相熔岩、凝灰岩夹正常沉积碎屑岩，在黄岗梁一带的大石寨组下部还有较厚的细碧岩；上部黄岗梁组(P_1h)砂板岩夹大理岩和凝灰岩。上统林西组(P_2l)陆相砂岩、粉砂岩、泥岩夹火山岩与下部地层为整合接触(李鹤年等，1988；内蒙古地矿局，1991)。大石寨组是本区二叠系分布面积最大的地层单位，对称出露于复式背斜两翼近轴部地带。黄岗梁组对称分布于复式背斜的两翼，呈北东向带状延伸，整合于大石寨组之上。侵入岩主要属燕山期，以花岗岩类为主，主要集中在区域重力负异常和重力梯度带范围内。此外，本区还发育有与上述侵入岩和火山活动有关的各类脉岩，包括辉绿岩、闪长玢岩、酸性斑岩类以及伟晶岩、细粒花岗岩和石英岩等。

2 矿床地质特征

黄岗锡铁矿床矿区面积 20 km^2，含矿带长 19 km，宽 0.2～2.5 km。矿区出露地层由南向北、由老至新依次为下二叠统青风山组、大石寨组、黄岗梁组及零星出露的上二叠统林西组(图 2)，总体倾向北西，倾角较大，一般 60°以上。主要岩性为下二叠统青风山组板岩，大石寨组细碧-角斑岩、安山岩、凝灰岩等及黄岗梁组大理岩、砂页岩，其中大理岩是交代蚀变成含矿夕卡岩的主要围岩。此外，中侏罗统新民组砂砾岩分布于复式背斜轴部的断陷盆地内。上侏罗统凝灰角砾岩主要分布于矿区南部中侏罗世断陷盆地内部及两侧。

矿床位于黄岗复式背斜北西翼，属单斜构造，主

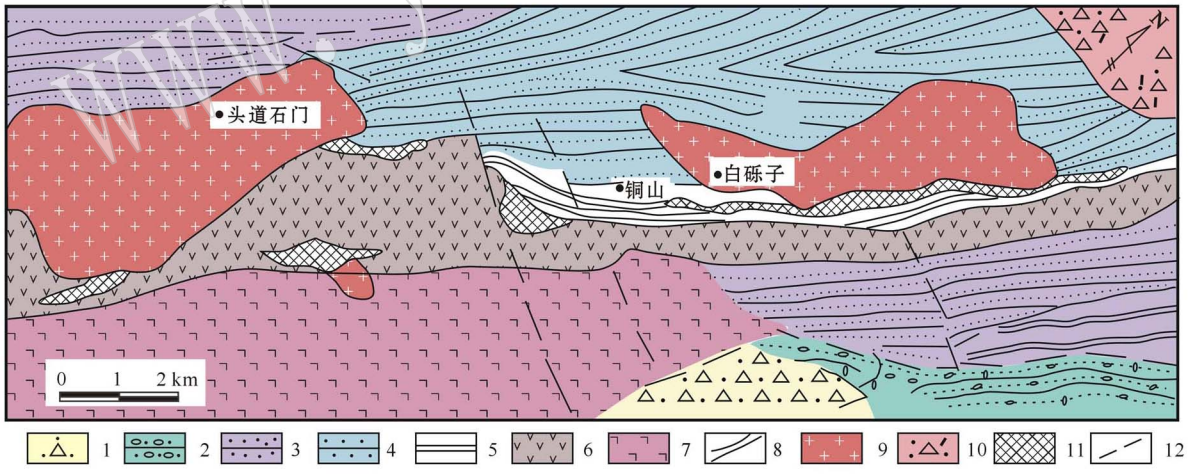

图 2 黄岗锡铁矿床地质简图[据王莉娟等(2001)修改]

Fig. 2 Simplified geological map of the Huanggang Sn-Fe deposit (modified after Wang Lijuan *et al*., 2001)

1—上侏罗统凝灰角砾岩；2—中侏罗统砂砾岩；3—下二叠统林西组砂板岩；4—下二叠统黄岗梁组凝灰质粉砂岩；5—下二叠统黄岗梁组大理岩；6—下二叠统大石寨组安山岩；7—下二叠统大石寨组细碧岩；8—下二叠统青风山组板岩；9—正长花岗岩；10—英安斑岩；11—含矿夕卡岩；12—断层

1—Upper Jurassic tuffaceous breccia; 2—Middle Jurassic sandy conglomerate; 3—sandy slate of Lower Permian Linxi Formation; 4—tuffaceous siltstone of Lower Permian Huanggangliang Formation; 5—marble of Lower Permian Huanggangliang Formation; 6—andesite of Lower Permian Huanggangliang Formation; 7—spilite of Lower Permian Dashizhai Formation; 8—shale of Lower Permian Qingfengshan Formation; 9—orthoclase granites; 10—dacite porphyry; 11—ore-bearing skarn; 12—fault

❶ 内蒙古第三地质大队. 1983. 黄岗锡铁矿区详细普查地质报告.

要构造线方向为北东向，其次为近东西向，矿床展布受黄岗梁-乌兰浩特深断裂带控制。燕山期花岗岩类岩体主要是钾长花岗岩类小岩体，岩体呈岩株状在矿区北侧北东向断续出露。经深部地球物理资料证实，各区诸岩体在深部均连为一体（李鹤年等，1988）。黄岗花岗岩 SiO_2 含量（质量分数，下同）较高，在 66.81%～77.39%，Al_2O_3 含量较低（11.33%～14.54%），全碱（ALK）含量较高（5.65%～10.67%），$FeO^T/(FeO^T+MgO)$ 为 0.86～0.99（周振华等，2010），在 Frost 等（2001）提出的 SiO_2 - $FeO^T/(FeO^T+MgO)$ 图解中落在铁质（Ferroan）范围内，黄岗花岗岩具有富硅、富碱、贫镁、贫钙的主量元素特征，与典型的 A 型花岗岩相似（周振华等，2010）。

在矿区分布有大小矿体共 185 个，呈西南-东北向展开，由西往东划分为Ⅰ～Ⅶ共 7 个矿区，其中Ⅰ、Ⅲ区目前正在较大规模开采。Ⅰ区矿体主要分布在由钾长花岗岩与大石寨组上部安山岩及所夹火山碎屑岩所形成夕卡岩带内，矿体多呈不规则的似层状或透镜状，产状、形态完全受岩体顶面制约。靠近岩体界面，矿体厚，连续性好，品位高；远离界面矿体则小而零乱，铁品位较低。Ⅲ区分布于矿区东段，矿体埋藏深，可分为上部小矿体和深部主矿体。上部小矿体埋藏浅，赋存在黄岗梁组大理岩顶面与含钙凝灰质粉砂岩接触面之层间裂隙的夕卡岩体内，成为一组陡立、斜列式、扁豆状或豆荚状的小矿体，在倾向上延伸不大，走向上具分支复合现象。深部主矿体严格受钾长花岗岩、安山岩与大理岩沿不同方向接触断裂面控制，矿体形态有不对称马鞍状、透镜状、不规则状，在接触面由陡变缓处，具有明显的膨大现象，虽然不十分规则，但连续性好❶。

因原岩性质的差异，围岩遭受蚀变后产生了不同类型的交代岩。本区最主要的蚀变类型为夕卡岩化，夕卡岩主要发育在花岗岩体的外带，呈似层状及透镜状，沿倾向多不规则，有膨缩现象，与地层产状基本一致，具有明显层控矿床特征。内接触带夕卡岩化十分微弱。蚀变分带性明显，从围岩到夕卡岩矿体，可依次分为硅化围岩、角岩、退化蚀变岩、贫矿夕卡岩、富矿夕卡岩等（王莉娟等，2002）。黄岗铁锡矿体直接产于燕山期似斑状钾长花岗岩与下二叠统大石寨组安山岩、凝灰岩和黄岗梁组大理岩、钙质砂页岩接触带的夕卡岩中，矿体呈层状、似层状、透镜状沿北东向和近东西向断续延伸。

矿石中主要金属矿物有：磁铁矿、锡石、白钨矿、闪锌矿、斜方砷铁矿、黄铜矿等，次要金属矿物有：辉钼矿、辉铋矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿等，脉石矿物主要为石榴石、角闪石，次为萤石、方解石、石英、绿帘石、绿泥石、阳起石、金云母等。矿石构造以浸染状为主，次为致密块状。按矿物组合和共生关系可将成矿阶段划分为夕卡岩阶段、退化蚀变阶段、石英硫化物阶段和碳酸盐阶段。夕卡岩阶段的矿物主要有透辉石、钙铁榴石、硅灰石、符山石，该阶段的后期有少量磁铁矿产出；退化蚀变阶段的矿物主要有阳起石-透闪石、绿帘石、绿泥石、绢云母等，这些矿物充填交代早阶段夕卡岩矿物，同时形成大量磁铁矿和部分锡石；石英硫化物阶段矿物主要有辉钼矿、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、石英等；碳酸盐阶段的矿物主要为方解石、绿泥石、萤石等晚期矿物，它们大多沿裂隙分布或充填交代先期形成的夕卡岩矿物。

3　夕卡岩矿物特征

夕卡岩化是黄岗锡铁矿中最主要的蚀变类型，具有工业价值的铁、锡矿体都发育在其中。夕卡岩厚度一般达数十米至上百米，Ⅰ区最厚处可达 500 m，厚度大小和接触带的产状形态关系较密切。夕卡岩分带明显，其分带序列从钾长花岗岩向大理岩的方向一般为：钾长花岗岩→钾长石化细粒花岗岩→绢云母化花岗斑岩→石榴石化透辉石化花岗岩→石榴石夕卡岩→透辉石-铁镁闪石-绿帘石夕卡岩→硅化大理岩→大理岩。值得提出的是，笔者在近矿体花岗斑岩中发现了零星分布的黄铜矿，是否存在斑岩型铜矿体还需要进行进一步工作。本区常见的夕卡岩矿物有石榴石、辉石、符山石和硅灰石等，并经常叠加有绿泥石、阳起石、透闪石、绿帘石和绢云母等含水硅酸盐矿物和锡、铁矿化，其主要夕卡岩的矿物学特征简要描述如下：

3.1　石榴石

黄岗夕卡岩中的石榴石主要分布于花岗岩与大理岩接触带的外带，细粒-粗粒状，在钙夕卡岩中往往呈脉状或条带状分布，可以单独形成夕卡岩带，也可与辉石、符山石、硅灰石等夕卡岩矿物共生，并可

❶ 内蒙古第三地质大队．1983. 黄岗锡铁矿区详细普查地质报告.

叠加各种后期的交代矿物，如萤石、石英等。按产出先后顺序主要可分为两类：一类是成矿早期细粒、他形的石榴石，颜色为黄褐-褐红色，粒径在 0.1～0.2 mm左右，显微镜下可见石榴石被碳酸盐交代的残余，呈一级灰干涉色；另一类是退化蚀变阶段自形的粗粒石榴石，颜色为浅褐红-浅黄褐色，单个晶体的直径在 1 ～2 cm 左右，晶形以菱形十二面体为主，其次为四角三八面体。显微镜下观察，石榴石大多无色，一级灰干涉色，光性异常，环带结构明显，通常具有双折射现象，同时往往伴随有绿泥石化、绿帘石化等蚀变（图 3a、3b）。

3.2 辉石

辉石在黄岗夕卡岩中广泛发育，形成时间较早，一般形成透辉石-石榴石夕卡岩或透闪石-透辉石夕卡岩等。石榴石是其经常共生的主要矿物，有时可见符山石等。手标本观察，辉石主要呈短柱状，横截面多为四边形和八边形，浅绿-绿色。镜下观察，一般无色，斜消光，可见两组近正交完全解理，正高突起，最高干涉色二级蓝绿（图 3c、3d）。

3.3 角闪石

角闪石广泛发育于透辉石夕卡岩中，形成时间晚于透辉石，常常不同程度地交代透辉石夕卡岩。黑绿色，呈长柱状、放射状和纤维状，横截面为近菱形的六边形，通常与石英、萤石、方解石等脉石矿物共生在一起。薄片中角闪石多为绿色和褐色，正高突起，二级干涉色，斜消光，具有绿泥石化现象（图 3e、3f）。平行柱面解理交角 124°（56°）左右。

4 电子探针分析

从代表性的夕卡岩样品中挑选辉石、石榴石、角闪石，在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室进行电子探针分析。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 5μm。

黄岗锡铁矿 11 件样品中的石榴石电子探针分析结果见表 1，计算得出的石榴石端员组分如图 4a 所示。该区石榴石可分为两类：一类是成矿早期石

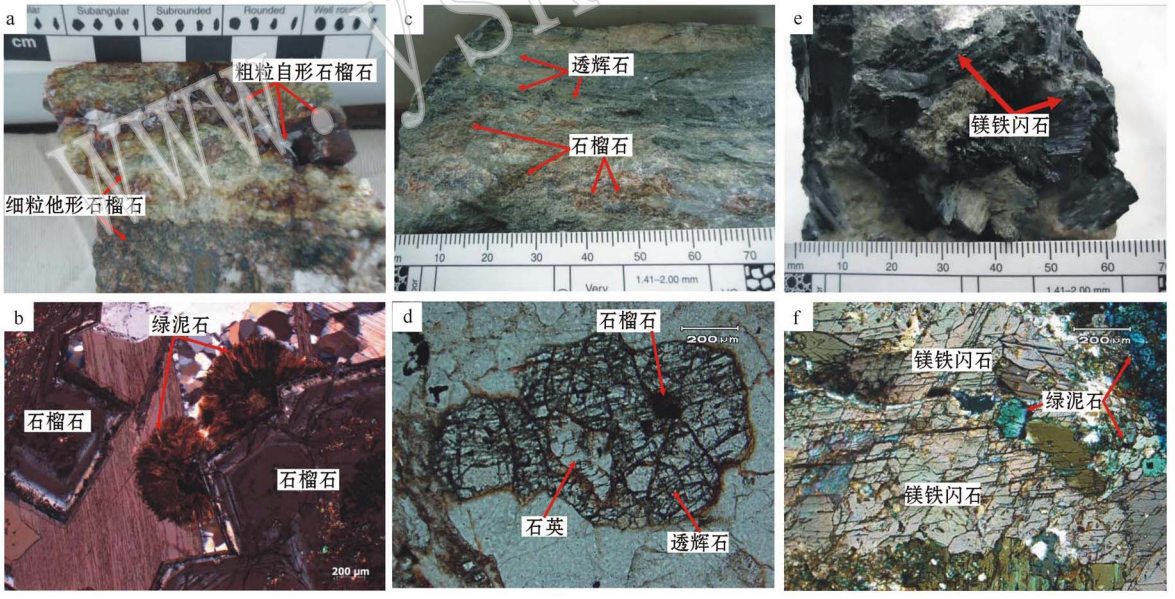

图 3 黄岗夕卡岩矿物手标本及正交偏光照片

Fig. 3 Sample photos and crossed nicols photos of skarn minerals in Huanggang

a—成矿早期细粒他形石榴石和成矿晚期粗粒自形石榴石；b—石榴石环带结构明显，边部有绿泥石化现象，正交偏光；c—透辉石呈条带状分布，通常与石榴石共生；d—透辉石与石榴石、石英等共生，正交偏光；e—镁铁闪石呈短柱状分布；f—镁铁闪石解理发育，有绿泥石化现象，正交偏光

a—the early fine-grained allotriomorphic garnet and the late coarse-grained euhedral garnet; b—obvious zoning structure in garnet, with chloritization phenomenon at the edge, crossed nicols; c—diopside assuming banded structure and usually associated with garnet; d—diopside associated with garnet, quartz, etc., crossed nicols; e—short column distribution of iron magnesium amphibole; f—iron magnesium amphibole cleavage developing and having chloritization phenomenon, crossed nicols

榴石，其端员组分以 Adr❶为主，变化范围在 54.96%～96.44%，平均 74.60%；石榴石环带发育，从核部至边部，石榴石组分具有明显从 Adr 逐渐向 Grs 过渡的趋势，暗示在成矿过程中随着外界成矿物理化学环境的变化，铁质逐步被析出沉淀。另一类是主成矿期石榴石，其端员组分以 Grs 为主，变化范围在 56.04%～67.38%，平均 62.47%。黄岗锡铁矿的石榴石端员变化范围与世界大型夕卡岩型铁矿的石榴石端员变化趋势一致(图 5)。

辉石电子探针结果见表 2，计算得出的辉石端员组分如图 4b。Di 组分变化为 11.8%～94.12%，Hd 的含量在 4.08%～81.28%，Jo 变化范围在 1.79%～20.02%，属于 Hd－Di 固溶体系列。微量元素 Cr、Ti、Ni 含量很少高于检测限，而 MnO 含量则较高(0.58%～5.82%)。

石榴石和辉石的矿物组分分别为 $Adr_{28.69\sim96.44}Grs_{2.00\sim67.38}$(Prp + Sps)$_{0.67\sim5.69}$ 和 $Di_{11.8\sim94.12}Hd_{4.08\sim81.28}Jo_{1.79\sim20.02}$，其较大的成分变化特征反映出了夕卡岩不是在一个完全封闭的平衡条件下形成的(赵劲松等，1996)。

表 1　黄岗锡铁矿床石榴石电子探针分析结果(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 garnet form the Huanggang Sn-Fe deposit

编号	测试部位	SiO_2	Al_2O_3	FeO^T	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	NiO	总和
HG8-1	核部	34.80	0.17	27.57	0.06	32.97	0.05	0.00	0.53	0.00	0.00	0.02	0.01	96.17
	边部	35.42	2.45	24.53	0.04	33.58	0.01	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	96.52
HG8-4	核部	35.54	1.79	25.30	0.08	33.95	0.00	0.00	0.34	0.01	0.00	0.00	0.00	97.00
	中部	35.37	6.47	18.70	0.02	34.43	0.00	0.00	0.51	0.14	0.01	0.02	0.00	95.68
	外环-1	36.27	5.93	20.63	0.06	34.53	0.00	0.00	0.39	0.03	0.03	0.00	0.00	97.87
	外环-2	36.35	5.02	21.79	0.10	34.47	0.01	0.00	0.36	0.01	0.03	0.00	0.00	98.13
HG6-1	核部	36.33	0.00	27.47	0.14	33.22	0.00	0.00	0.40	0.01	0.02	0.01	0.00	97.61
	内环-1	36.62	3.07	23.86	0.04	34.06	0.00	0.00	0.22	0.01	0.02	0.03	0.02	97.94
	内环-2	36.87	3.45	22.76	0.04	33.81	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	97.25
	外环	37.44	8.62	16.91	0.03	34.90	0.00	0.00	0.33	0.00	0.04	0.01	0.00	98.29
HG22-1	核部	35.02	0.51	27.20	0.13	33.38	0.00	0.00	0.39	0.00	0.01	0.02	0.00	96.66
	内环	34.90	0.34	27.26	0.16	33.43	0.05	0.00	0.32	0.01	0.00	0.02	0.00	96.49
	外环	35.13	0.32	27.14	0.17	33.41	0.07	0.00	0.33	0.00	0.03	0.05	0.00	96.66
HG8-2	核部	35.07	12.45	10.21	1.11	34.64	0.08	0.00	0.69	0.00	0.06	0.00	0.00	94.31
HG8-3	核部	35.29	14.24	8.93	0.65	35.01	0.01	0.00	0.67	0.00	0.02	0.00	0.00	94.80
HG6-2	核部	36.47	7.10	18.21	0.16	34.04	0.00	0.00	0.58	0.53	0.03	0.00	0.02	97.13
	中部	36.80	7.41	17.51	0.13	34.46	0.00	0.00	0.60	0.66	0.03	0.00	0.03	97.63
	外环	37.02	7.63	17.64	0.15	34.55	0.02	0.00	0.63	0.59	0.03	0.00	0.02	98.27
HG16-2	核部	38.07	14.48	10.21	0.04	35.87	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.03	0.02	99.15
	外环-1	38.01	14.44	10.01	0.02	35.92	0.00	0.00	0.46	0.01	0.00	0.01	0.00	98.87
	外环-2	37.41	12.92	11.19	0.00	35.54	0.00	0.00	0.44	0.00	0.04	0.00	0.00	97.53
	外环-3	38.03	14.75	10.29	0.00	35.54	0.00	0.00	0.54	0.01	0.00	0.01	0.00	99.15
HG16-3	核部	36.36	7.66	17.56	0.05	34.75	0.02	0.00	0.64	0.29	0.01	0.03	0.02	97.39
	中部	37.27	7.35	17.12	0.01	34.58	0.05	0.00	0.68	0.23	0.02	0.01	0.02	97.35
	内环-1	36.66	8.79	16.62	0.00	34.85	0.01	0.01	0.70	0.03	0.01	0.01	0.00	97.68
	内环-2	38.51	13.92	11.30	0.02	35.38	0.04	0.00	0.59	0.01	0.03	0.00	0.00	99.78
	外环-1	38.53	13.10	11.84	0.01	35.62	0.00	0.00	0.57	0.02	0.01	0.01	0.00	99.70
	外环-2	36.86	12.99	11.29	0.00	35.52	0.02	0.00	0.50	0.01	0.00	0.01	0.01	97.21
	边部	37.89	13.13	11.94	0.00	35.47	0.00	0.00	0.38	0.00	0.02	0.00	0.01	98.84
HG16-1	核部	38.44	12.25	12.68	0.01	34.90	0.01	0.00	1.00	0.20	0.00	0.04	0.00	99.53
	中部	38.42	13.00	11.79	0.01	35.04	0.04	0.00	0.92	0.00	0.02	0.00	0.00	99.24
	边部	36.64	6.64	19.49	0.00	34.65	0.00	0.00	0.32	0.07	0.04	0.00	0.03	97.87
HG22-2	核部	35.24	3.83	22.73	0.15	33.86	0.00	0.00	0.45	0.04	0.02	0.00	0.01	96.32
	边部	35.94	2.29	24.67	0.06	33.64	0.00	0.00	0.45	0.03	0.01	0.01	0.00	97.10

❶ 文中矿物名称缩写代号含义如下：Adr—钙铁榴石；Alm—铁铝榴石；Dr—透辉石；Grs—钙铝榴石；Hd—钙铁辉石；Jo—锰钙辉石；Prp—镁铝榴石；Sps—锰铝榴石；下文同。

续表 1

Continued Table 1

编号	测试部位	Si	Ti	Al	Cr	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Mn	Mg	Ca	Adr	Prp	Sps	Grs
HG8-1	核部	2.975	0.000	0.017	0.001	1.971	0.000	0.038	0.008	3.020	96.44	0.25	1.25	2.00
	边部	2.985	0.000	0.243	0.000	1.729	0.000	0.036	0.005	3.032	84.39	0.16	1.16	14.28
HG8-4	核部	2.987	0.001	0.177	0.000	1.778	0.000	0.024	0.010	3.057	86.28	0.32	0.78	12.61
	中部	2.963	0.009	0.639	0.001	1.310	0.000	0.036	0.003	3.091	62.80	0.08	1.16	35.90
	外环-1	2.974	0.002	0.573	0.000	1.415	0.000	0.027	0.007	3.033	69.17	0.24	0.88	29.71
	外环-2	2.981	0.001	0.485	0.000	1.495	0.000	0.025	0.012	3.029	73.11	0.40	0.82	25.67
HG6-1	核部	3.043	0.001	0.000	0.001	1.924	0.000	0.028	0.017	2.981	95.35	0.58	0.94	3.10
	内环-1	3.023	0.001	0.299	0.002	1.647	0.000	0.015	0.005	3.012	81.47	0.16	0.51	17.76
	内环-2	3.052	0.000	0.337	0.000	1.576	0.000	0.024	0.005	2.999	78.07	0.16	0.79	20.98
	外环	3.014	0.000	0.818	0.001	1.138	0.000	0.023	0.004	3.010	56.24	0.12	0.74	42.87
HG22-1	核部	2.973	0.000	0.051	0.001	1.931	0.000	0.028	0.016	3.036	94.03	0.53	0.91	4.46
	内环	2.971	0.001	0.034	0.001	1.941	0.000	0.023	0.020	3.049	94.13	0.66	0.75	4.40
	外环	2.984	0.000	0.032	0.003	1.928	0.000	0.024	0.022	3.041	93.71	0.70	0.77	4.66
HG8-2	核部	2.916	0.000	1.220	0.000	0.710	0.000	0.049	0.138	3.086	32.55	4.20	1.49	61.76
HG8-3	核部	2.900	0.000	1.379	0.000	0.614	0.000	0.047	0.080	3.083	28.69	2.48	1.45	67.38
HG6-2	核部	2.991	0.033	0.686	0.000	1.249	0.000	0.040	0.020	2.991	61.40	0.64	1.32	36.63
	中部	2.998	0.040	0.712	0.000	1.193	0.000	0.041	0.016	3.008	58.38	0.52	1.35	39.75
	外环	2.995	0.036	0.728	0.000	1.194	0.000	0.043	0.018	2.995	58.58	0.59	1.41	39.42
HG16-2	核部	2.977	0.000	1.335	0.002	0.668	0.000	0.028	0.005	3.006	32.96	0.15	0.94	65.86
	外环-1	2.980	0.001	1.334	0.001	0.656	0.000	0.031	0.002	3.018	32.28	0.08	1.00	66.62
	外环-2	2.990	0.000	.217	0.000	0.748	0.000	0.030	0.000	3.043	36.51	0.00	0.97	62.52
	外环-3	2.973	0.001	1.359	0.001	0.658	0.014	0.036	0.000	2.977	32.63	0.00	1.18	65.69
HG16-3	核部	2.976	0.018	0.739	0.002	1.202	0.000	0.044	0.006	3.047	58.20	0.20	1.43	40.08
	中部	3.042	0.014	0.707	0.001	1.169	0.000	0.047	0.001	3.024	57.05	0.04	1.53	41.34
	内环-1	2.979	0.002	0.842	0.001	1.129	0.000	0.048	0.000	3.034	54.96	0.00	1.56	43.44
	内环-2	2.997	0.001	1.277	0.000	0.725	0.011	0.039	0.002	2.950	36.21	0.08	1.30	62.06
	外环-1	3.007	0.001	1.205	0.001	0.773	0.000	0.038	0.001	2.978	38.42	0.04	1.25	60.27
	外环-2	2.962	0.001	1.230	0.001	0.759	0.000	0.034	0.000	3.058	36.80	0.00	1.10	62.06
	边部	2.985	0.000	1.219	0.000	0.787	0.000	0.025	0.000	2.995	39.08	0.00	0.84	60.08
HG16-1	核部	3.014	0.012	1.132	0.002	0.831	0.000	0.066	0.001	2.932	41.58	0.04	2.21	56.04
	中部	3.014	0.000	1.202	0.000	0.774	0.000	0.061	0.001	2.946	38.58	0.04	2.03	59.35
	边部	2.992	0.004	0.639	0.000	1.331	0.000	0.022	0.000	3.031	65.38	0.00	0.72	33.90
HG22-2	核部	2.963	0.003	0.380	0.000	1.598	0.000	0.032	0.019	3.051	77.31	0.61	1.03	21.05
	边部	3.007	0.002	0.226	0.001	1.726	0.000	0.032	0.007	3.015	84.76	0.24	1.04	13.92

FeO^T 为全铁氧化物，分析精度为 0.0 n% 分析者 陈振宇和陈小丹。

黄岗锡铁矿角闪石以镁铁钙角闪石为主，电子探针分析结果见表 3。根据 Leake 等(1997)的分类，本区角闪石主要为镁铁钙角闪石系列，个别落入铁角闪石区域(图 6a、6b)。其化学成分中，Al_2O_3 为 0.35%～11.19%，$FeO+Fe_2O_3$ 为 23.46%～32.88%，CaO 为 10.96%～33.28%，Na_2O 为 0.02%～1.84%，成分变化较大的原因可能是由于氧化还原条件的改变导致不同程度的 $Al^{Ⅵ}$ $Si\longleftrightarrow$(Na，K)的置换作用，属于一种固相线下的转变趋势(Ngounouno *et al*.，2000)。角闪石中四次配位的 Si、Al，六次配位的 Al、Ti 和 A 位置的阳离子数变化范围很大(表 3、图 6)，可能是由于接触交代作用过程中的岩浆的成分差异或结晶时的物理化学条件的改变所引起的(牛利锋等，2005)。李鹤年等(1989)测得黄岗锡铁矿 2 件夕卡岩中角闪石分别为氟质铁镁钙闪石和铁浅闪石，成分也与本文获得数据相近❶。黄岗锡铁矿夕卡岩中角闪石成分特征与中国一些典型的夕卡岩型铁(多金属)矿相似，如新疆磁海铁矿、湖北铁山铁铜矿、福建马坑铁矿和阳山、挂山铁矿等(赵一鸣等，2003 及其引文)。

❶ 李鹤年等. 1989. 内蒙古黄岗锡铁矿床研究(内部报告).

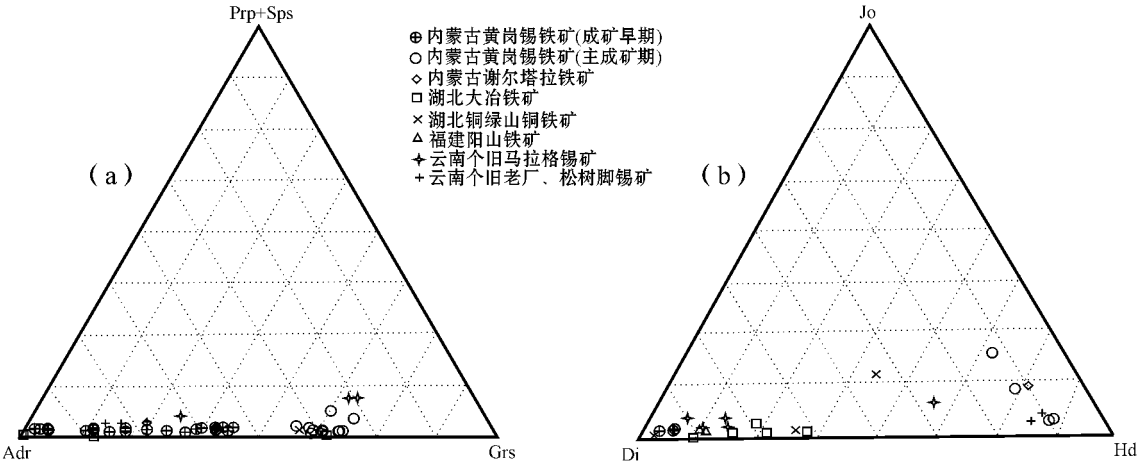

图 4　黄岗锡铁矿石榴石(a)和辉石(b)端员组分图解(除黄岗锡铁矿外数据据林文蔚等，1990)

Fig. 4　End members of garnets (a) and clinopyroxenes (b) from the Huanggang Sn-Fe deposit (data except for Huanggang Sn-Fe deposit after Lin Wenwei *et al*., 1990)

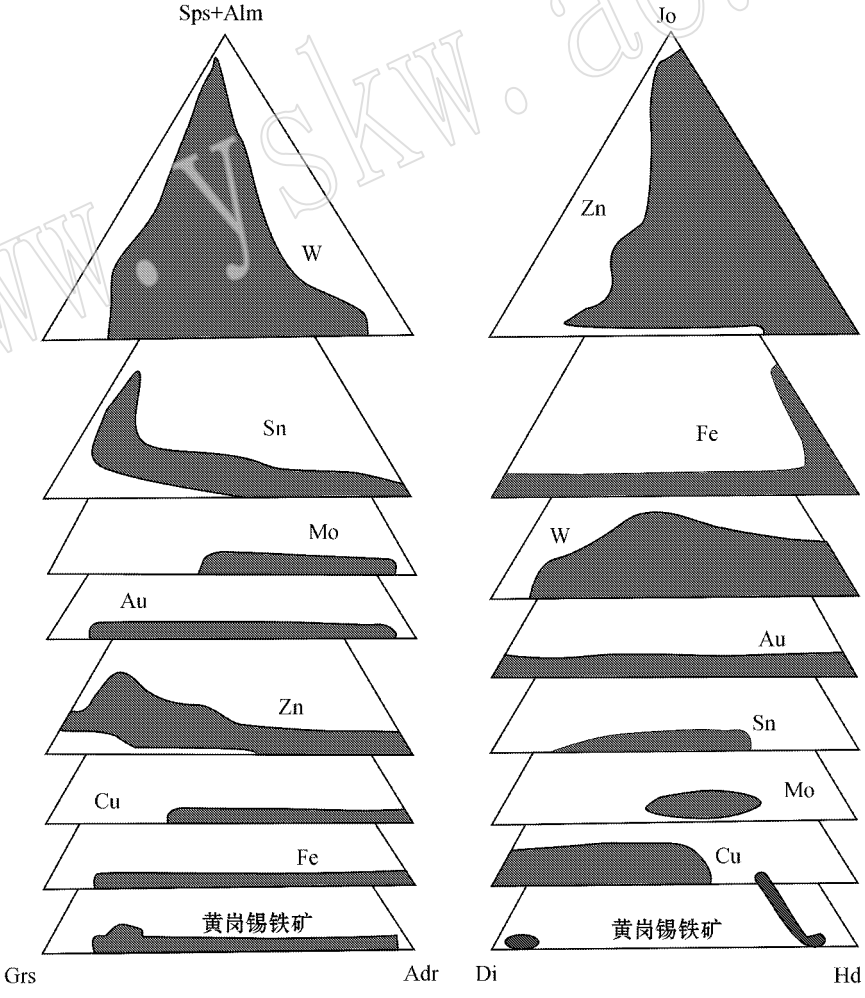

图 5　世界大型夕卡岩型矿床石榴石和辉石组分(据 Meinert，1992)

Fig. 5　Ternary plots of garnet and pyroxene compositions of major large skarn deposits (after Meinert，1992)

表 2 黄岗锡铁矿床辉石的电子探针分析结果(w_B/%)、阳离子数及端员组分

Table 2 Electron microprobe analyses (w_B/%), ion proportions and end members of the representative pyroxenes from the Huanggang Sn-Fe deposit

编号	SiO_2	Al_2O_3	FeO^T	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	NiO	总和
HG3-3	48.76	0.35	23.46	1.91	23.00	0.10	0.00	1.97	0.01	0.03	0.01	0.02	99.64
HG3-4	48.65	0.64	23.57	2.39	22.92	0.17	0.00	1.91	0.00	0.01	0.00	0.02	100.27
HG16-1	50.18	0.01	20.82	2.26	23.52	0.07	0.00	3.14	0.00	0.00	0.00	0.00	100.01
HG16-3	50.29	0.01	19.19	2.44	23.46	0.00	0.00	5.82	0.01	0.00	0.00	0.02	101.25
HG22-1	53.94	0.05	2.28	16.79	25.94	0.07	0.00	0.58	0.00	0.03	0.03	0.00	99.72
HG22-2	53.78	0.07	2.37	16.46	26.06	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	99.33
HG22-3	53.95	0.32	1.14	17.27	26.01	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	99.28

以 6 个氧原子和 4 个阳离子为基准计算

编号	Si	$Al^{Ⅳ}$	$Al^{Ⅵ}$	Cr	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Mn	Mg	Ca	Na	Di	Hd	Jo
HG3-3	1.989	0.010	0.006	0.000	0.016	0.783	0.068	0.116	1.005	0.007	11.80	81.28	6.92
HG3-4	1.971	0.028	0.002	0.000	0.058	0.736	0.065	0.144	0.995	0.013	14.40	79.4	6.20
HG16-1	2.020	0.000	0.001	0.000	0.000	0.704	0.107	0.136	1.014	0.006	14.36	74.34	11.30
HG16-3	2.007	0.000	0.001	0.000	0.000	0.642	0.197	0.145	1.003	0.000	14.74	65.24	20.02
HG22-1	1.982	0.000	0.000	0.001	0.057	0.013	0.018	0.920	1.021	0.005	91.27	6.94	1.79
HG22-2	1.984	0.000	0.000	0.000	0.043	0.030	0.019	0.905	1.030	0.000	90.77	7.32	1.91
HG22-3	1.980	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.018	0.945	1.023	0.000	94.12	4.08	1.80

FeO^T 为全铁氧化物 ;分析精度为 0.0 n% ;分析者 :陈振宇和陈小丹。

表 3 黄岗锡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 Huanggang Sn-Fe deposit

编号	SiO_2	Al_2O_3	FeO^T	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	NiO	总和
HG8-5	35.39	1.10	26.42	0.08	33.28	0.02	0.00	0.48	0.01	0.00	0.02	0.00	96.81
HG5-1	40.14	8.88	32.54	1.16	11.02	1.84	1.61	0.71	0.31	0.03	0.02	0.00	98.26
HG5-2	38.76	9.76	32.34	1.00	11.00	1.74	1.92	0.64	0.42	0.01	0.00	0.00	97.59
HG5-3	37.46	10.72	31.20	1.10	11.25	1.67	2.26	0.70	0.43	0.00	0.01	0.01	96.82
HG5-4	38.03	10.72	31.31	1.11	11.28	1.51	2.18	0.73	0.36	0.01	0.00	0.00	97.23
HG5-5	36.78	11.19	32.83	0.20	11.18	1.52	2.24	0.65	0.25	0.00	0.00	0.02	96.86
HG3-1	37.14	10.52	32.61	0.52	11.10	1.65	1.94	0.91	0.84	0.02	0.02	0.00	97.27
HG3-2	37.22	9.86	32.88	0.36	10.96	1.36	2.17	0.83	0.58	0.00	0.01	0.00	96.23

以 23 个氧为基准计算的阳离子数

编号	Si	$Al^{Ⅳ}$	$Al^{Ⅵ}$	Ti	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Mn	Mg	Ca	Na	K	∑阳离子
HG8-5	6.212	0.228	–	0.001	–	3.878	0.071	0.021	6.259	0.007	–	16.677
HG5-1	6.566	1.434	0.278	0.038	0.000	4.451	0.098	0.283	1.931	0.584	0.336	16.000
HG5-2	6.405	1.595	0.306	0.052	-	4.469	0.090	0.246	1.948	0.557	0.405	16.073
HG5-3	6.245	1.755	0.352	0.054	–	4.350	0.099	0.273	2.010	0.540	0.481	16.158
HG5-4	6.295	1.705	0.386	0.045	–	4.334	0.102	0.274	2.001	0.485	0.460	16.087
HG5-5	6.179	1.821	0.395	0.032	–	4.613	0.092	0.050	2.012	0.495	0.480	16.169
HG3-1	6.204	1.796	0.275	0.106	–	4.556	0.129	0.129	1.987	0.534	0.413	16.129
HG3-2	6.298	1.702	0.264	0.074	–	4.653	0.119	0.091	1.987	0.446	0.468	16.102

编号	Si_T	Al_T	Al_C	Fe_C^{3+}	Ti_C	Mg_C	Fe_C^{2+}	Mn_C	Fe_B^{2+}	Mn_B	Ca_B	Na_B	Ca_A	Na_A	K_A
HG8-5	6.212	0.228	–	–	0.001	0.021	3.878	0.071	–	–	2.000	–	4.259	0.007	–
HG5-1	6.566	1.434	0.278	0.000	0.038	0.283	4.401	–	0.050	0.098	1.851	–	0.080	0.584	0.336
HG5-2	6.405	1.595	0.306	–	0.052	0.246	4.395	–	0.074	0.090	1.837	–	0.111	0.557	0.405
HG5-3	6.245	1.755	0.352	–	0.054	0.273	4.321	–	0.029	0.099	1.872	–	0.137	0.540	0.481
HG5-4	6.295	1.705	0.386	–	0.045	0.274	4.295	–	0.039	0.102	1.858	–	0.142	0.485	0.460
HG5-5	6.179	1.821	0.395	–	0.032	0.050	4.524	–	0.089	0.092	1.819	–	0.194	0.495	0.480
HG3-1	6.204	1.796	0.275	–	0.106	0.129	4.490	–	0.066	0.129	1.806	–	0.181	0.534	0.413
HG3-2	6.298	1.702	0.264	–	0.074	0.091	4.571	–	0.082	0.119	1.799	–	0.188	0.446	0.468

FeO^T 为全铁氧化物 ;" – "表示低于检测限,分析精度为 0.0 n% ;下标表示离子在晶体中所占位置 ;分析者 :陈振宇和陈小丹。

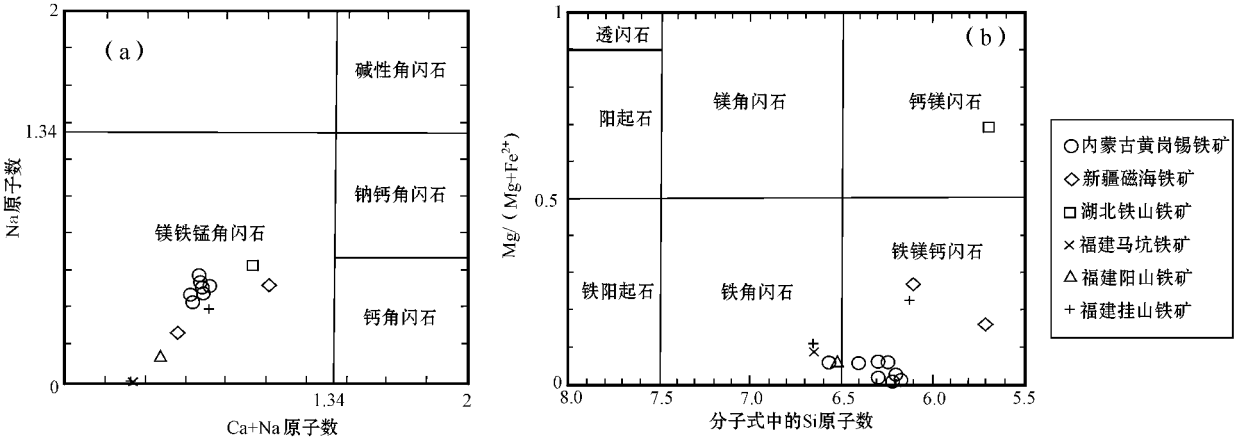

图 6　黄岗锡铁矿角闪石分类图解(底图据 Leake 等，1997；黄岗锡铁矿以外数据据赵一鸣等，2003)

Fig. 6　Classification of amphiboles from the Huanggang Sn-Fe deposit (after Leake *et al*., 1997; data except for Huanggang Sn-Fe deposit after Zhao Yiming *et al*., 2003)

5　讨论

5.1　矿床成因类型

对于黄岗锡铁矿的成因主要存在两种认识：一是接触交代成因(张德全等，1993；赵一鸣等，1997a；王莉娟等，2001；Ishihara *et al*.，2001)；二是喷流沉积成因(Liu *et al*.，2001；叶杰等，2002；刘建明等，2004；王长明等，2007)。尽管矿床成因存在争议，但本区广泛发育的夕卡岩化围岩蚀变却是不争事实。通常认为，钙质夕卡岩首先形成石榴石、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。角闪石在夕卡岩中属于退化热液交代阶段的产物，常由交代早期的石榴石或单斜辉石而成，其生成一般晚于早期钙夕卡岩矿物(赵一鸣等，2003；徐林刚等，2007)。从矿物组合上看，本区夕卡岩组合与钙质夕卡岩建造相近。最近，周振华等(2010)测得黄岗锡铁矿与成矿关系密切的钾长花岗岩和花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 136.7±1.1 Ma 和 136.8±0.57 Ma，对应于毛景文等(2005)提出的中国北方金属矿床 140～130 Ma 的花岗岩侵位高峰期，花岗质岩浆的大量侵入带来了大量成矿物质和成矿所需的热能；同时，围岩中除灰岩外，还发育下二叠统凝灰质粉砂岩和安山岩类等，而高铝围岩的存在同时也是镁铁钙角闪石和铁角闪石产出的重要原因(赵一鸣等，2003)。黄岗矿区断裂构造发育，从露天到井下随处可见网格状、细脉状断裂，为流体运移提供了通道。夕卡岩的寄主岩石通常是形成于大陆边缘和弧前环境的泥质至碳酸盐沉积物和火山岩(Kwak，1987；Ahmed and Hariri，2006)，周振华等(2010)提出黄岗锡铁矿是在中国东部构造体制大转换，也就是古太平洋板块俯冲的大陆边缘弧后伸展环境的产物，符合夕卡岩形成的构造环境。

黄岗锡铁矿富含石榴石和辉石，而以石榴石辉石为主的夕卡岩的形成环境(氧逸度、硫逸度、温度及 X_{CO_2})相当类似，在以往不少关于夕卡岩的成岩实验和成岩环境探讨中，CO_2 均被作为不可缺少的组分(Meinert，1993；Slaughter *et al*.，1975；Einaudi，1975)。毛景文等(1996)在对柿竹园 W-Sn-Mo-Bi 矿的夕卡岩矿物进行研究后提出，在夕卡岩的形成过程中除了 CO_2 一种活动组分以外，无处不存在的萤石揭示出 F 对夕卡岩的生成起到更重要的作用。黄岗矿区同样广泛发育萤石，与其有一定相似性。夕卡岩和矿化之间不仅在空间上大致重合，时间上同时或相继形成，而且有着密切的成因联系(赵一鸣等，1990)。本区大量发育层纹状夕卡岩矿石，由于在周围大理岩中未见这种均匀的条纹构造，该层纹状岩石似乎是交代过程中的一种自组织现象(Self organization)(Guy，1988；毛景文等，1996)，并非是喷流沉积成因所形成。

以上事实均证明黄岗锡铁矿为夕卡岩型矿床，其成因可能为晚中生代构造岩浆活动大爆发引发酸性岩浆的侵入，成矿早期温度、氧逸度较高，富含挥发份的成矿流体交代碳酸盐围岩，形成层纹状夕卡

岩中的石榴石、符山石等。部分磁铁矿和夕卡岩矿物近于同时形成,互为条纹状有规律地生长,大量的铁进入石榴石的成分形成钙铁榴石夕卡岩(王莉娟等,2001 赵一鸣等,1990)。随着成矿环境的变化,花岗岩体的作用减弱,温度和氧逸度逐渐降低,成矿物质大量析出沉淀,发生磁铁矿化、锡石矿化以及多金属硫化物矿化,从而形成黄岗大型夕卡岩型锡铁矿床。

5.2 夕卡岩矿物的成矿指示意义

夕卡岩的矿物成分能提供关于夕卡岩和成矿环境的重要信息,例如石榴石和辉石的组成能指示夕卡岩系统的氧化还原状态,并可能具有重要的找矿意义(Einaudi *et al*., 1981;Lu *et al*., 2003;Ahmed and Hariri, 2006)。一般认为,氧化型矿床辉石成分以透辉石为主,而石榴石成分以钙铁榴石为主(Misra, 2000;Lu *et al*., 2003)。电子探针结果显示,黄岗夕卡岩早期属于典型的氧化类型,夕卡岩晚期则向还原类型过渡。肖成东等(2002)研究发现黄岗早期石榴石普遍具有 Eu 正异常,而其 Ce 负异常则不明显 晚期石榴石表现为 Eu 弱的正或负异常,而 Ce 则为明显的负异常。这些演化特征说明了夕卡岩成岩环境的氧逸度从早期相对氧化环境向晚期相对还原环境过渡,与本文研究一致。

赵斌和 Barton(1987)通过对我国许多钙夕卡岩矿床和钙-镁夕卡岩矿床研究后发现,石榴石和辉石成分与夕卡岩矿床金属矿化类型之间有一定联系,这些联系对揭示夕卡岩矿床的形成机理和指导找寻不同矿化类型的夕卡岩矿床有着一定意义(林文蔚等,1990)。对于钙夕卡岩型矿床,从 Fe、Fe-Cu→W-Zn-Cu→Cu-Zn→W-Bi-Cu-Mo→Sn-Mo-Bi-W→Pb-Zn→W→Sn 矿床,石榴石中(Sps + Alm + Prp)总含量依次递增;从 Fe、W-Zn-Cu→Sn →Sn-Mo-Bi-W 矿床,辉石中锰钙辉石含量略有增加(Einaudi and Burt, 1982;林文蔚等,1990;Ray and Webster, 1997)。锰质夕卡岩主要由锰钙铁辉石和石榴石组成,局部有锰钙辉石和钙蔷薇辉石。本文搜集了国内外不同类型的典型夕卡岩矿床夕卡岩的矿物学特征,见表 4。从表 4 中可以看出,从 Fe-Cu (Au)矿床、(Ag) Pb-Zn 矿床到 W-Sn (Mo-Bi)矿床,夕卡岩建造分别为钙-镁夕卡岩、锰质夕卡岩和钙质夕卡岩,蚀变矿物组合主要特征分别为含蛇纹石 + 橄榄石 + 金云母、蔷薇辉石 + 锰质阳起石 + 菱锰矿、绿泥石 + 绿帘石 + 绢云母。黄岗锡铁矿与四川连龙锡银矿、云南个旧马拉格锡铁矿类似,在夕卡岩矿物成分特征上与钙-镁质夕卡岩建造的铜铁矿床类似,而在蚀变矿物组合上却与钙质夕卡岩建造的钨锡矿床相近,指示其可能为一种新的夕卡岩建造。

Nakano 等(1994)指出辉石的 Mn/Fe 比值变化可以指示夕卡岩金属矿化的类型,夕卡岩铁、金矿床和部分铜矿床中辉石的 Mn/Fe 比值较低,大多小于 0.1 而夕卡岩铅锌矿床中的锰钙铁辉石的 Mn/Fe 比值大多高于 0.1,其 Mg/Fe 比值小于 1;夕卡岩钨矿床中辉石的 Mn/Fe 比值大多介于 0.1~0.3 之间,比铅锌矿床中的稍低;夕卡岩铜、钼矿床中的透辉石的 Mn/Fe 比值比夕卡岩铁、金矿床中的透辉石要稍高一些(赵一鸣等,1997b)。黄岗矿区辉石 Mn/Fe 比值变化范围在 0.15~0.44,暗示本区存在寻找多金属矿化的可能。辉石中锰钙辉石变化范围较宽,含量在 1.79%~20.02%,黄岗锡铁矿区含矿地层的黄岗梁组大理岩不含 Mn,地层提供 Mn 的可能性不大,而在似层状矿体中的辉石却富含 Mn,远离接触带或矿体不含 Mn。黄岗花岗岩的 MnO 含量(0.02%~0.05%,周振华等,2010)明显低于 A 型花岗岩的 MnO 平均含量(0.07%,刘家远等,1996),且未见到富锰的钛铁矿等副矿物,暗示花岗岩浆中可能有部分锰质成分通过与碳酸盐地层的接触交代作用进入了夕卡岩。王莉娟等(2001)也认为黄岗锡铁矿的成矿流体具有地层与岩浆的多来源性,即锡主要来自花岗岩浆,铁主要来自围岩的玄武-安山地层。在'类岛弧'北西侧发育的黄岗梁组碳酸盐岩层位,是本区夕卡岩型矿床的主要赋矿围岩。黄岗锡铁矿在构造地质背景、夕卡岩矿物组合等方面与邻近的白音诺铅锌矿相近,而后者沿走向上,夕卡岩中的辉石种属依透辉石→次透辉石→钙铁辉石→锰钙铁辉石→钙蔷薇辉石的序列变化(赵一鸣等,1997a),在主要的铅锌矿化地段,石榴石和辉石都较富锰。

以上证据表明本区富锰辉石是燕山期岩浆流体演化的结果,富锰的辉石夕卡岩是岩浆流体顺层间破碎带渗滤交代形成的,岩浆流体参与了成矿。这种现象与我国闽中地区夕卡岩型铅锌矿(狄永军等,2006)类似,富锰辉石可作为本区寻找 Sn、Cu、Zn 等多金属的找矿标志。由于内夕卡岩带的温度和盐度较高,活跃的酸性介质使体系处于动态平衡(冯守忠,2008),不利于金属硫化物沉淀,因此在夕卡岩内带难以形成有价值的铅锌矿;而远离接触带的大理岩内,低温、低盐度的大气降水很难萃取成矿物质,溶

表 4　国内外典型夕卡岩矿床中夕卡岩矿物组分特征和矿物组合一览表

Table 4　List of skarn mineral compositions and mineral assemblages of typical skarn deposits in China and abroad

矿床名称	主要矿种	夕卡岩矿物成分特征	退化蚀变矿物	资料来源
安徽安庆	Cu-Fe	石榴石见于外夕卡岩带，透辉石见于夕卡岩带和蚀变闪长岩带。石榴石成分：$Adr_{77.26\sim88.82}Grs_{2.39\sim15.41}(Alm+Sps)_{1.55\sim12.54}$；辉石成分：$Di_{7.30\sim99.73}Hd_{0\sim80.84}Jo_{0.05\sim1.99}$	蛇纹石、金云母、橄榄石、斜长石和透闪石-阳起石	束学福(2004)
安徽三铺	Cu-Fe-Au	镁夕卡岩产于外接触带，辉石组分 $Di_{94.3\sim99.9}Hd_{0\sim5.7}Jo_{0\sim0.7}$；钙夕卡岩见于内接触带，透辉石 $Di_{82.3\sim87.6}$ $Hd_{12.1\sim16.5}$ $Jo_{0.3\sim1.2}$，石榴石 $Grs_{38.8\sim97.3}Adr_{2.6\sim61.1}Sps_{0.1\sim0.4}$	镁橄榄石、方镁石、金云母、透闪石、蛇纹石、绿帘石和钾长石等	赵一鸣等(1999)
湖北铜绿山	Cu-Fe	产于内接触带，部分产于外接触带。辉石为透辉石 $Hd_{13\sim15}$，石榴石为钙铁榴石 $Adr_{40\sim75}$，部分为含钙铁榴石 30%～50%的钙铝榴石	透闪石-阳起石、金云母、韭闪石	赵一鸣等(1990)
巴西 Itajubatiba	Cu-Fe-Au	产于外接触带，辉石组分 $Hd_{26\sim61}Jo_{1\sim2}$，石榴石组分 $Adr_{4\sim13}(Alm+Sps)_{69\sim78}Grs_{2\sim2.5}$	阳起石、蛇纹石、斜绿泥石、绢云母、绿帘石和黑云母	Souza Neto 等(2008)
内蒙古白音诺	Pb-Zn	主要发育于外接触带，其组成矿物为锰钙铁辉石-铁质锰钙辉石($Di_{0.8\sim32.8}Hd_{47.1\sim75.2}Jo_{13.4\sim52.1}$)，钙铁-钙铝榴石($Grs_{0.1\sim78.9}Adr_{17.1\sim98.4}Sps_{1.2\sim4.0}$)	石英、方解石、角闪石、黑柱石和绿泥石	赵一鸣等(1997a)
江西焦里	Ag-Pb-Zn	产于外接触带，其组成矿物为锰质钙铁辉石($Di_{25.7\sim31.3}Hd_{41.0\sim46.3}Jo_{26.3\sim29.3}$)、锰质透辉石($Di_{39.1\sim45.5}Hd_{34.0\sim40.9}Jo_{26.3\sim29.3}$)、锰质钙铝榴石($Grs_{46.6\sim50.2}Adr_{8.4\sim16.4}Sps_{11.1\sim37.4}$)，局部有锰铝榴石($Grs_{41}Adr_{6.5}Sps_{45.6}$)、钙蔷薇辉石和锰质符山石	锰质阳起石、石英、萤石、方解石	李大新等(2004)
辽宁八家子	Ag-Pb-Zn	主要为蔷薇辉石、锰次透辉石($Hd_{20}Jo_{25}$)、锰铝榴石($Adr_{0\sim8.6}Sps_{58.5\sim89.3}Alm_{0\sim25.5}$)	含铁金云母、含锰阳起石、菱锰矿、锰铁白云石、重晶石和萤石	赵一鸣等(1990)
福建大排	Pb-Zn	钙锰辉石($Hd_{15.8\sim22.3}Jo_{69.3\sim77}$)、钙铁榴石、黑柱石、锰钙铁辉石($Hd_{49\sim57}Jo_{22\sim24}$)	萤石、石英、重晶石	赵一鸣等(1990)
美国 Grsoundhog	Pb-Zn	锰钙铁辉石($Hd_{40\sim45}Jo_{30\sim50}$)，钙蔷薇辉石、钙铁榴石($Adr_{80\sim100}$)	镁铁闪石、角闪石、绿泥石	Einaudi 等(1981)
日本 Nakatatsu	Pb-Zn	锰钙铁辉石($Hd_{40\sim62.2}Jo_{14\sim53.1}$)、钙蔷薇辉石、蔷薇辉石、硅灰石、石榴石($Adr_{16\sim98}Sps_{1.8\sim8.3}$)	绿帘石、阳起石、萤石、锰绿泥石、菱锰矿	Shimizu 等(1982)
湖南柿竹园	W-Sn-Mo-Bi	钙质夕卡岩中，石榴石组分 $Ad_{25\sim35}Grs_{65\sim75}$，辉石以透辉石-次透辉石为主；锰质夕卡岩位于接触带附近，石榴石组分 $Sps_{43.55\sim83.82}Adr_{0\sim14.01}Grs_{0\sim17.28}$，辉石 $Di_{25.87\sim48.36}$ $Hd_{40.92\sim63.0}Jo_{0.44\sim14.78}$，蔷薇辉石、锰橄榄石和日光榴石	绿泥石、韭闪石、电气石、石英、白云母、富锰黑云母	毛景文等(1994)；尹京武等(2000)
湖南新田岭	W-Mo-Bi	石榴石组分为 $Grs_{13.11\sim42.81}$ $Adr_{53.12\sim79.05}Sps_{1.65\sim7.81}$，辉石主要为次透辉石，$Di_{31.43\sim72.87}Hd_{20.22\sim58.08}Jo_{6.91\sim10.49}$，硅灰石、符山石等	阳起石、绿帘石、绿泥石、金云母、石英、方解石	林文蔚等(1990)
巴西 Bonfim	W-Bi-Te	产于大理岩中的夕卡岩中辉石组分为 $Hd_{11\sim48}Jo_{1\sim3}$，产于片岩中的夕卡岩中辉石组分为 $Hd_{17\sim53}Jo_{1\sim4}$，石榴石组分为 $Adr_{3\sim5}(Alm+Sps)_{68\sim69}Grs_{21\sim22}$，方柱石等	绢云母、黑云母、阳起石、斜黝帘石、绿泥石、葡萄石、白云母	Souza Neto 等(2008)
内蒙古黄岗	Sn-Fe	产于外接触带，石榴石成分为 $Adr_{28.69\sim96.44}Grs_{2.00\sim67.38}(Prp+Sps)_{0.67\sim5.69}$，辉石成分为 $Di_{14.36\sim94.12}Hd_{4.08\sim74.34}Jo_{1.79\sim20.02}$，符山石等	角闪石、阳起石、绿帘石、绿泥石、绢云母	本文
四川连龙	Sn-Ag	石榴石平均组分为 $Adr_{15.17}Grs_{75.97}(Alm+Sps)_{8.86}$，辉石组分 $Di_{14.21\sim56.36}$ $Hd_{42.10\sim76.46}Jo_{1.54\sim9.33}$	电气石、绿帘石、石英、碳酸盐矿物	曲晓明等(2001)
云南马拉格	Sn-Fe	石榴石组分 $Grs_{4.11\sim24.66}$ $Adr_{71.66\sim93.29}Sps_{2.30\sim3.68}$，辉石组分 $Di_{34.11\sim87.55}$ $Hd_{8.08\sim58.11}Jo_{2.05\sim7.78}$	尖晶石、韭闪石、葡萄石、绿泥石	林文蔚等(1990)；赵一鸣等(1990)

液保持稀释状态,流体温度较低,难以沸腾,因而也不是矿石大量堆积的理想环境;只有在外接触带夕卡岩和其附近的大理岩中(即两类流体的混合处)才是成矿的有利部位(冯守忠,2008)。最近笔者在黄岗Ⅲ区西风井外接触夕卡岩带的5号矿体中发现了大量的多金属硫化物矿带,这也提示应当重视在本区成矿有利部位寻找多金属矿带。

6 结论

黄岗锡铁矿床属于典型的夕卡岩型矿床。石榴石和辉石为钙铁榴石-钙铝榴石和透辉石-钙铁辉石固溶体系列,矿物组分分别为 $Adr_{28.69\sim96.44}$ $Grs_{2.00\sim67.38}$ $(Prp+Sps)_{0.67\sim5.69}$ 和 $Di_{11.8\sim94.12}$ $Hd_{4.08\sim81.28}Jo_{1.79\sim20.02}$,角闪石以镁铁闪石为主。矿区具有寻找多金属矿化的潜力,富锰辉石可作为本区寻找 Sn、Cu、Zn 等多金属的找矿标志。

致谢 论文撰写过程中得到了中国地质科学院矿产资源研究所毛景文研究员的悉心指导,并与谢桂青副研究员、陈振宇博士、赵海杰博士等进行了讨论,受益匪浅;北京矿冶研究总院汤集刚高级工程师在研究工作中给予了热情的帮助;审稿专家给论文提出了许多建设性的意见,在此一并致以谢忱!

References

Ahmed Z and Hariri M M. 2006. Formation and mineral chemistry of a calcic skarn from Al-Madhiq, SW Saudi Arabia[J]. Chemie der Erde Geochemistry, 66:187~201.

Chen Guangyuan, Sun Daisheng and Zhou Xunruo. 1993. Genetic Mineralogy and Gold Mineralization of Guojialing Granodiorites from Eastern Shandong, China[M]. Beijing: China University of Geosicence Press, 1~131(in Chinese).

Chen Zhiguang, Zhang Lianchang, Wu Huaying, *et al*. 2008. Geochemistry study and tectonic background of A style host granite in Nianzigou molybdenum deposit in Xilamulun molybdenum metallogenic belt, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(4): 879~889(in Chinese with English abstract).

Di Yongjun, Wu Ganguo, Zhang Da, *et al*. 2006. Composition characteristics of pyroxenes from Pb-Zn deposits in central Fujian Province and their genetic significance[J]. Mineral Deposits, 25(2):123~134(in Chinese with English abstract).

Einaudi M T. 1975. Graphical analysis of some skarn assemblages in the system Ca-Fe-Mg-Si-H_2O-CO_2-O_2[J]. Ecos(Am. GeoPhys. Union Trans.), 56:1 081.

Einaudi M T and Burt D M. 1982. Introduction-terminology, classification and composition of skarn deposit[J]. Econ. Geol., 77:745~754.

Einaudi M T, Meinert L D and Newberry R J. 1981. Skarn deposits[J]. Economic Geology, 75th Anniv., 317~391.

Feng Shouzhong. 2008. Geological features and metallogenic mechanism of Jilin Zhengcha Pb-Zn deposit[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 23(1):16-21(in Chinese with English abstract).

Frost B R, Barnes C G, Collins W J, *et al*. 2001. A geochemical classification for granitic rocks[J]. J. Petrology, 42:2 033~2 048.

Geology and Mineral Resources Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~532(in Chinese).

Guy B. 1988. Contribution a l'etude des skarrts de Costabonne(Pyrenees Orintales, France) et a la theorie de la zonation metasomatique[D]. These de Doct. Et Sciences, Universite P. and M. Curie, Paris:982.

Ishihara D, Mizuta T, Ishikawa Y, *et al*. 2001. Geochemical characteristics of igneous rocks and tin-copper mineralization[A]. Project Final Report of Chinese Research Center for Mineral Resources Exploration[C], 4:115~138.

Kwak T A P. 1987. W-Sn skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids[J]. Amsterdam: Elesvier.

Leake B E, Wolley A R and Arps C E S. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names[J]. American Mineralogist, 82:1 019~1 037.

Li Daxin and Zhao Yiming. 2004. Skarn mineral ization zonation and fluid evolution in the Jiali deposit, Jiangxi province[J]. Geological Review, 50(1):16~24(in Chinese with English abstract).

Li Henian and Duan Guozheng. 1988. Ore-forming model of the Huanggang style iron~tin polymetallic deopsit[J]. World Geology, 7(4):17~28(in Chinese with English abstract).

Lin Wenwei, Zhao Yiming and Jiang Chongjun. 1990. Characteristics of paragenetic clinopyroxene~granet pairs in skarn deposits and their geological significance[J]. Mineral deposits, 9(3):195~207(in Chinese with English abstract).

Liu Jiayuan and Yuan Kuirong. 1996. A discussion on the genesis and tectonic setting of alkali granites in the Ulungur alkali-rich granite belt, Xinjiang[J]. Geological Journal of China Universities, 2(3): 257~272(in Chinese with English abstract).

Liu J M, Ye J, Li Y B, *et al*. 2001. A preliminary study on exhalative mineralization in Permian basins, the southern segment of the Da Hinggan Mountains, China-Case studies of Huanggang and Dajing deposits[J]. Resource Geology, 51:345~358.

Liu Jianming, Zhang Rui and Zhang Qingzhou. 2004. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China[J]. Earth Science Frontiers, 11(1):269~277(in Chinese with English abstract).

Lu Huanzhang, Liu Yimao, Wang Changlie, *et al*. 2003. Mineralization and fulid inclusion study of the Shizuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn

deposit, Hunan Province, China[J]. Econ. Geol., 98: 955～974.

Mao Jingwen, Li Hongyan, Wang Ping'an, *et al*. 1994. Manganoan skarn in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Hunan province[J]. Mineral Deposits, 13(1): 38～47(in Chinese with English abstract).

Mao Jingwen, Li Hongyan, Guy B, *et al*. 1996. Geology and metallogeny of the Shizhuyuan skarn-greisen W-Sn-Mo-Bi deposit, Hunan province[J]. Mineral Deposits, 15(1): 1～15(in Chinese with English abstract).

Mao Jingwen, Xie Guiqing, Zhang Zuoheng, *et al*. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169～188(in Chinese with English abstract).

Minert L D. 1984. Mineralogy and petrology of iron skarns in western British Columbia, Canada[J]. Econ. Geol., 79: 869～882.

Meinert L D. 1992. Skarns and skarn deposits[J]. Geoscience Canada, 19: 145～162.

Meinert L D. 1993. Skarns and skarn deposits[A]. Sheahan P A and Cherry M E. Ore Deposit Models[C], Ⅱ: 117～134.

Misra K C. 2000. Understanding Mineral Deposit[M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers,.

Nakano T, Yoshino T, Shimazaki H, *et al*. 1994. Pyroxene composition as an indicator in the classification of skarn deposits[J]. Econ. Geol., 89 (7): 1 567～1 580.

Ngounouno I, Deruelle B and Demaiffe D. 2000. Petrology of the bimodal Cenozoic volcanism of the Kapsiki plateau (northernmost Cameroon, Central Africa)[J]. J. Volcano Geother Res., 102(1～2): 21～44.

Niu Lifeng and Zhang Hongfu. 2005. Mineralogy and petrogenesis of amphiboles from intermediate-mafic intrusions in southern Taihang Mountains[J]. Geotectonica et Metallogenia, 29(2): 269～277 (in Chinese with English abstract).

Qi Jinping, Chen Yanjing and Pirajno F. 2005. Geological characteristics and tectonic setting of the epithermal deposits in the northeast China[J]. J. Mineral. Petrol., 25(2): 47～59(in Chinese with English abstract).

Qu Xiaoming, Hou Zengqian and Zhou Shugui. 2001. Metallogenic geological characteristics of the Lianlong skarn type Sn-Ag polymetallic deposit in Westrn Sichuan[J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(1): 29～34(in Chinese with English abstract).

Ray G E and Webster I C L. 1997. Skarns in British Columbia[J]. British Columbia Geological Survey Branch Bull, 101: 1～260.

Shao Jidong, Wang Shouguang, Zhao Wentao, *et al*. 2007. Geological characteristics and prospecting potential in Daxing'anling region [J]. Geology and Resources, 16(4): 252～262(in Chinese with English abstract).

Shimizu M and Iiyama J T. 1982. Zinc-Lead skarn deposits of the Nakatatasu mine, Central Japan[J]. Economic Geology, 77(4): 1 000～1 012.

Shu Xuefu. 2004. Geology and geochemistry characteristics of Anqing skarn-type Fe-Cu deposit and its origin of iron materials[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 23(3): 219～224(in Chinese with English abstract).

Slaughter J, Kerrick D M and Wall W J. 1975. Experimental and thermodynamic study of equilibriain the system CaO-MgO-SiO_2-O-CO_2 [J]. Am. Jour. Sei. 275: 143～162.

Souza Neto J A, Legrand J M, Volfinger M, *et al*. 2008. W-Au skarns in the Neo-Proterozoic serido mobile belt, Borborema province in northeastern Brazil: an overview with emphasis on the Bonfim deposit[J]. Miner Deposita, 43: 185～205.

Wang Changming, Zhang Shouting, Deng Jun, *et al*. 2007. The exhalative genesis of the stratabound skarn in the Huanggangliang Sn-Fe polymetallic deposit of Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(5): 409～417(in Chinese with English abstract).

Wang Lijuan, Shimazaki H, Wang Jingbin, *et al*. 2001. Ore-forming fluid and mineralization of Huangguangliang skarn Fe-Sn deposit [J]. Sciences in China(Series D), 31(7): 553～562(in Chinese with English abstract).

Wang Lijuan, Wang Jingbin, Wang Yuwang, *et al*. 2002. REE geochemistry of the Huangguangliang skarn Fe-Sn deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 575～584(in Chinese with English abstract).

Xiao Chendong and Liu Xuewu. 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 Lingang, Mao Jingwen, Yang Fuquan, *et al*. 2007. Skarn mineral characteristics of Mengku iron deposit in Xinjiang and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(4): 455～463(in Chinese with English abstract).

Ye Jie, Liu Jianming, Zhang An'li, *et al*. 2002. Petrological evidence for exhalative mineralization: Case studies of Huanggang and Dajing deposits in the the southern segment of the Da Hinggan Mountains, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 585～592(in Chinese with English abstract).

Yin Jingwu, Lee H K, Chio K K, *et al*. 2000. Characteristics of garnet in Shizhuyuan skarn deposit, Hunan province[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 25(2): 163～171(in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan, Liu Yong and Li Daxin. 1993. Intrusive rocks related to the copper-polymetallic mineralization in the Daxinganling region [A]. Zhang Dequan and Zhao Yiming. Symposium of the copper-polymetallic deposits in Daxinganling and adjacent areas[C]. Beijing: Earthquake Publishing House, 50～64(in Chinese).

Zhao Bin and Barton M D. 1987. Compositional characteristics of granets and pyroxenes in contact-metasomatic skarn deposits and their relationship to metallization[J]. Acta Mineralogica Sinica, 7 (1): 1～8(in Chinese with English abstract).

Zhao Jingsong and Newberry R J. 1996. Novel knowledge on the origin and mineralization of skarn from Shizhuyuan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 16(4): 442～449(in Chinese with English abstract).

Zhao Yiming, Lin Wenwei and Bi Chengsi. 1990. Skarn Deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1～354(in Chinese with

English summary).

Zhao Yiming, Lin Wenwei and Zhang Dequan. 1992. Metasomatic Mineralization and Its Ore-Searching Significance-Study of Some Ore-Bearing Metasomatic Formations [M]. Beijing: Beijing Sci. & Techn. Pub. House, 1~156(in Chinese).

Zhao Yiming and Zhang Dequan. 1997a. Metallogenic Regularity and Prospective Evaluation of the Copper-polymetallic Deposits in Daxinganling and Adjacent Areas [M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 135~137(in Chinese).

Zhao Yiming, Zhang Yinan and Lin Wenwei. 1997b. Characteristics of pyroxenes and pyroxenoids in skarn deposits of China and their relationship with metallization[J]. Mineral Deposits, 16(4): 318~329(in Chinese with English abstract).

Zhao Yiming, Zhang Yinan, Bi Chengsi, *et al*. 1999. The metallogenic geological setting, zonation and fluid evolution of the Au (Cu, Fe) magnesian skarn deposits in Sanpu area, Anhui province[J]. Mineral Deposits, 18(1): 1~10(in Chinese with English abstract).

Zhao Yiming and Li Daxin. 2003. Amphiboles in Skarn Deposits of China[J]. Mineral Deposits, 22(4): 345~358(in Chinese with English abstract).

Zhou Zhenhua, Lü Linsu, Feng Jiarui, *et al*. 2010. Molybdenite Re-Os ages of Huanggang skarn Sn-Fe deposit and their geological significance, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 667~679(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈志广,张连昌,吴华英,等. 2008. 内蒙古西拉木伦成矿带碾子沟钼矿区 A 型花岗岩地球化学和构造背景[J]. 岩石学报, 24(4): 879~889.

狄永军,吴淦国,张 达,等. 2006. 闽中地区铅锌矿床辉石成分特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 25(2): 123~134.

冯守忠. 2008. 吉林正岔铅锌矿床地质特征及成矿机理[J]. 地质找矿论丛,23(1): 16~21.

李大新,赵一鸣. 2004. 江西焦里夕卡岩银铅锌钨矿床的矿化夕卡岩分带和流体演化[J]. 地质论评, 50(1): 16~24.

李鹤年,段国正. 1988. 黄岗式铁锡多金属矿床的成矿模式[J]. 世界地质, 7(2): 17~28.

林文蔚,赵一鸣,蒋崇俊. 1990. 夕卡岩矿床中共生单斜辉石-石榴子石特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 9(3): 195~207.

刘家远,袁奎荣. 1996. 新疆乌伦富碱花岗岩带碱性花岗岩成因及其形成构造环境[J]. 高校地质学报, 2(3): 257~272.

毛景文,李红艳,Guy B,等. 1996. 湖南柿竹园矽卡岩-云英岩型 W-Sn-Mo-Bi 矿床地质和成矿作用[J]. 矿床地质, 15(1): 1~15.

刘建明,张 锐,张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 11(1): 269~277.

毛景文,李红艳,王平安,等. 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): 38~47.

毛景文,谢桂青,张作衡,等. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1): 169~188.

内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1~532.

牛利锋,张宏福. 2005. 南太行山地区中基性侵入岩中的角闪石的矿物学及其成因[J]. 大地构造与成矿学, 29(2): 269~277.

祁进平,陈衍景,Franco Pirajno. 2005. 东北地区浅成低温热液矿床的地质特征和构造背景[J]. 矿物岩石, 25(2): 47~59.

曲晓明,侯增谦,周书贵. 2001. 川西连龙夕卡岩型锡、银多金属矿床成矿地质特征[J]. 地球学报, 22(1): 29~34.

邵积东,王守光,赵文涛,等. 2007. 大兴安岭地区成矿地质特征及找矿前景分析[J]. 地质与资源, 16(4): 252~262.

束学福. 2004. 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, 23(3): 219~224.

王长明,张寿庭,邓 军,等. 2007. 内蒙古黄岗梁锡铁多金属矿床层状夕卡岩的喷流沉积成因[J]. 岩石矿物学杂志, 26(5): 409~417.

王莉娟,岛崎英彦,王京彬,等. 2001. 黄岗梁夕卡岩型铁锡矿床成矿流体及成矿作用[J]. 中国科学(D 辑), 31(7): 553~562.

王莉娟,王京彬,王玉往,等. 2002. 内蒙黄岗梁夕卡岩型铁锡矿床稀土元素地球化学[J]. 岩石学报, 18(4): 575~584.

肖成东,刘学武. 2002. 东蒙地区夕卡岩石榴子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,等. 2007. 新疆蒙库铁矿床夕卡岩矿物学特征及其意义[J]. 矿床地质, 26(4): 455~463.

叶 杰,刘建明,张安立,等. 2002. 沉积喷流型矿化的岩石学证据—以大兴安岭南段黄岗和大井矿床为例[J]. 岩石学报, 18(4): 587~592.

尹京武,李铉具,崔庆国,等. 2000. 湖南省柿竹园夕卡岩矿床中石榴石特征[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 25(2): 163~171.

张德全,刘 勇,李大新. 1993. 大兴安岭地区与铜多金属成矿有关的侵入岩[A]. 张德全,赵一鸣. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集[C]. 北京:地震出版社, 50~64.

赵 斌,Barton M D. 1987. 接触交代夕卡岩型矿床中石榴子石和辉石成分特点及其与矿化的关系[J]. 矿物学报, 7(1): 1~8.

赵劲松, Newberry R J. 1996. 对柿竹园夕卡岩成因及其成矿作用的新认识[J]. 矿物学报, 16(4): 442~449.

赵一鸣,李大新. 2003. 中国夕卡岩矿床中的角闪石[J]. 矿床地质, 22(4): 345~358.

赵一鸣,林文蔚,毕承思. 1990. 中国夕卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社, 1~354.

赵一鸣,林文蔚,张德全. 1992. 交代成矿作用及其找矿意义——几个重要含矿交代建造的研究[M]. 北京:北京科学技术出版社, 1~156.

赵一鸣,张德全. 1997a. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京:地震出版社, 135~137.

赵一鸣,张轶男,林文蔚. 1997b. 我国夕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, 16(4): 318~329.

赵一鸣,张轶男,毕承思,等. 1999. 安微淮北三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床生成地质环境、分带和流体演化[J]. 矿床地质, 18(1): 1~10.

周振华,吕林素,冯佳睿,等. 2010. 内蒙古黄岗夕卡岩型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 26(3): 667~679.