

# 新疆阿尔泰巴斯铁列克钨多金属矿矿物特征 及其地质意义\*

张国锋<sup>1</sup>, 李永<sup>2</sup>, 杨富全<sup>3\*\*</sup>, 李强<sup>3</sup>, 杨成栋<sup>3</sup>, 柴凤梅<sup>3</sup>

(1 新疆大学 新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室, 新疆 乌鲁木齐 830049; 2 新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地质矿产勘查研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

**摘要** 巴斯铁列克是在新疆阿尔泰发现的首例中型钨多金属矿床。该矿床赋存于黑云二长花岗岩外接触带的上志留统一下泥盆统康布铁堡组火山沉积岩系中。矿体呈似层状和透镜状分布于矽卡岩中。矽卡岩及金属矿物特征关系到成矿机制研究和矿床模型的构建。文章对矽卡岩矿物和矿石中金属矿物进行了研究, 电子探针分析表明, 辉石端员组分以透辉石为主, 少量钙铁辉石 ( $w(\text{Wo})$  为 49.14%~50.71%,  $w(\text{En})$  为 24.38%~27.76%,  $w(\text{Fs})$  为 22.29%~24.27%); 石榴子石以钙铝榴石为主; 黑云母为铁云母, 长石为正长石, 绿帘石具有富 Ca、Al、贫 Fe 特征。闪锌矿为铁闪锌矿, 磁黄铁矿、黄铜矿、黝锡矿、毒砂、自然铋、辉银矿分子式与标准矿物基本一致。研究表明, 矿区矽卡岩为交代成因的钙质矽卡岩, 是岩浆热液交代大理岩的产物。通过对矿床地质特征、矽卡岩矿物组合、矽卡岩与矿化关系和矿物成因研究, 提出成矿过程经历了早期矽卡岩阶段、退化蚀变阶段和石英硫化物阶段, 钨矿化主要形成于退化蚀变阶段, 铜锌矿化则形成于石英硫化物阶段。

**关键词** 地质学; 矽卡岩; 化学成分; 钨多金属矿; 巴斯铁列克; 阿尔泰

中图分类号: P618.67

文献标志码: A

## Mineral characteristics of Basitieleke W-polymetallic deposit in Altay of Xinjiang and their geological significance

ZHANG GuoFeng<sup>1</sup>, LI Yong<sup>2</sup>, YANG FuQuan<sup>3</sup>, LI Qiang<sup>3</sup>, YANG ChengDong<sup>3</sup> and CHAI FengMei<sup>3</sup>

(1 Xinjiang Key Laboratory for Geodynamic Processes and Metallogenic Prognosis of the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Urumqi 830049, Xinjiang, China; 2 Geological and Mineral Prospecting Research Institute of Nonferrous Geological Prospecting Bureau of Xinjiang, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 3 MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

### Abstract

The medium-tonnage Basitieleke deposit is the first W polymetallic deposit discovered in Altay, Xinjiang. The discovery of the Basitieleke deposit is of great significance. It is hosted in the meta-volcano-sedimentary rocks of the Upper Silurian-Lower Devonian Kangbutiebao Formation which is located along the external contact zone of biotite monzonite. Orebodies occur in stratoid and lenticular forms in skarn. The mineral characteristics of the skarn and metal mineralogy are related to the study of metallogenic mechanism and the construction of the deposit model. Metal and skarn mineralogical characteristics were analyzed by electron microprobe. According to the results ob-

\* 本文得到国家自然科学基金项目(编号:41672072)和新疆维吾尔自治区阿勒泰地区资源补偿奖励资金项目《新疆阿尔泰山南缘克兰盆地成矿规律研究及资源潜力评价》联合资助

第一作者简介 张国锋,男,1993年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email:1272724307@qq.com

\*\* 通讯作者 杨富全,男,1968年生,博士生导师,研究员,主要从事矿床地质和成矿规律研究。Email:fuquanyang@163.com

收稿日期 2018-03-17;改回日期 2018-08-10。赵海杰编辑。

tained, pyroxenes are mainly diopsides with minor hedenbergites ( $w(\text{Wo})=49.14\%\sim 50.71\%$ ,  $w(\text{En})=24.38\%\sim 27.76\%$ ,  $w(\text{Fs})=22.29\%\sim 24.27\%$ ); garnets are grossular-dominated; biotites and feldspar are mainly iron micas and orthoclases, respectively; epidotes are characterized by high Ca, Al and low Fe concentrations. The sphalerite is mainly marmatite, and the molecular formulas of pyrrhotite, chalcopyrite, stannite, arsenopyrite, bismuth and argentite are generally consistent with those of standard minerals. Compositions of these skarn minerals suggest that they are metasomatic calcic skarn derived from metasomatism between magmatic-hydrothermal and marble. Combined with deposit characteristics, skarn and mineral genesis and relationship between skarn and mineralization, the authors hold that the ore-forming processes can be divided into prograde stage, retrograde stage and quartz-sulfide stage, in which W and Cu-Zn mineralizations were mainly formed in retrograde and quartz-sulfide stages, respectively.

**Key words:** geology, skarn, chemical composition, W polymetallic deposit, Basitielieke, Altay

矽卡岩矿床是世界钨资源的最主要来源(占70%),是铜、铁、钼、锡的主要来源,也是金、银、铅、锌、钴、铍、稀土元素、硼、铋等的相对次要来源(翟裕生等,2011)。中国是矽卡岩矿床产出最多的国家之一,据不完全统计,现已探明的矽卡岩矿床达918个,其中钨矿床85个(赵一鸣等,2017)。矽卡岩型矿床一般是在中酸性侵入岩类与碳酸盐类岩石(或其他钙镁质岩石)的接触带及附近,由含矿热液进行交代作用形成的,矿床在空间及时间上与矽卡岩有密切关系,一般具有典型矽卡岩矿物组合。在新疆南阿尔泰发现了一些中酸性、中基性岩体与火山岩围岩热液交代形成的矽卡岩型(或类矽卡岩型)铁矿,如蒙库铁矿、乌吐布拉克铁矿、巴特巴克布拉克铁矿等,这类矽卡岩矿床成矿围岩虽然与接触交代矽卡岩不同,但其矽卡岩的形成过程并无区别(徐林刚等,2007;张志欣等,2011;杨俊杰等,2016)。

新疆阿尔泰是哈萨克斯坦阿尔泰的东南延伸部分,是中国重要的有色金属、稀有金属及白云母成矿带之一,同时也是新疆铁和金矿的重要产地。该带的铜锌矿床主要为VMS型(如阿舍勒、尼古拉耶夫等,杨富全等,2006),未发现独立钨矿,或钨多金属矿。在俄罗斯阿尔泰发现了卡尔古特钼-钨-稀有金属矿床,属于与花岗岩有关的石英大脉型,成矿时代为三叠纪(Potseluev et al., 2006;韩宝福,2008)。近年来,南阿尔泰克兰盆地找矿工作取得了新进展,2013年新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地质矿产勘查研究院首次发现了巴斯铁列克铜锌矿,2014~2017年发现克兹尔因白钨矿体、铜矿体,巴斯铁列克铜锌矿中伴生钨矿,巴斯铁列克东白钨矿体。巴斯铁列克矽卡岩型钨铜锌矿(包括克兹尔因矿段、巴斯铁列克矿段和巴斯铁列克东矿段)是在新疆阿尔泰首次发现的钨多金属矿,其钨储量达到中型(李永,2018),该矿床的发现

拓展了阿尔泰的找矿方向,对于研究阿尔泰成矿作用具有重要意义。矿区发育黑云二长花岗岩,在岩体外接触带康布铁堡组大理岩中发育多层矽卡岩,钨铜锌矿体赋存于矽卡岩带,矽卡岩是黑云二长花岗岩的岩浆热液交代大理岩的产物。由于巴斯铁列克钨多金属矿是新发现的,勘查工作正在进行,矿床地质特征、矽卡岩矿物组合及化学成分,金属矿物特征等关系到成矿机制探讨和矿床模型构建的科学问题还未研究。本文在大量野外调查和岩芯观察基础上,开展了巴斯铁列克钨多金属矿床地质特征、矽卡岩矿物组合、矽卡岩矿物及金属矿物化学成分研究,以期对探讨成矿作用和建立矿床模型提供依据。

## 1 区域地质背景

新疆阿尔泰造山带位于西伯利亚板块和哈萨克斯坦-准噶尔板块的接合部位,额尔齐斯挤压带为两大板块的分界。阿尔泰造山带划分为北阿尔泰、中阿尔泰和南阿尔泰3个块体。南阿尔泰北以阿巴宫断裂为界,南以克兹加尔断裂为界,与额尔齐斯构造带相邻,从NW到SE依次斜列着4个火山沉积盆地,即阿舍勒盆地、冲乎尔盆地、克兰盆地和麦兹盆地。出露地层主要为上志留统一下泥盆统康布铁堡组和中-上泥盆统阿勒泰镇组变质火山-沉积岩系。巴斯铁列克钨多金属矿位于克兰盆地(图1),克兰盆地及外围出露有上寒武统一下奥陶统(杨富全等,2017)、中-上志留统库鲁木提群、上志留统一下泥盆统康布铁堡组和中-上泥盆统阿勒泰镇组。上寒武统一下奥陶统分布于克兰盆地NE底部、盆地外围NE部和NW方向,主要岩性为矽线黑云斜长片麻岩、斜长角闪片岩、矽线石云母片岩、黑云母斜长角闪片岩、变质砂岩等。盆地内出露的地层主要有康布铁堡组变

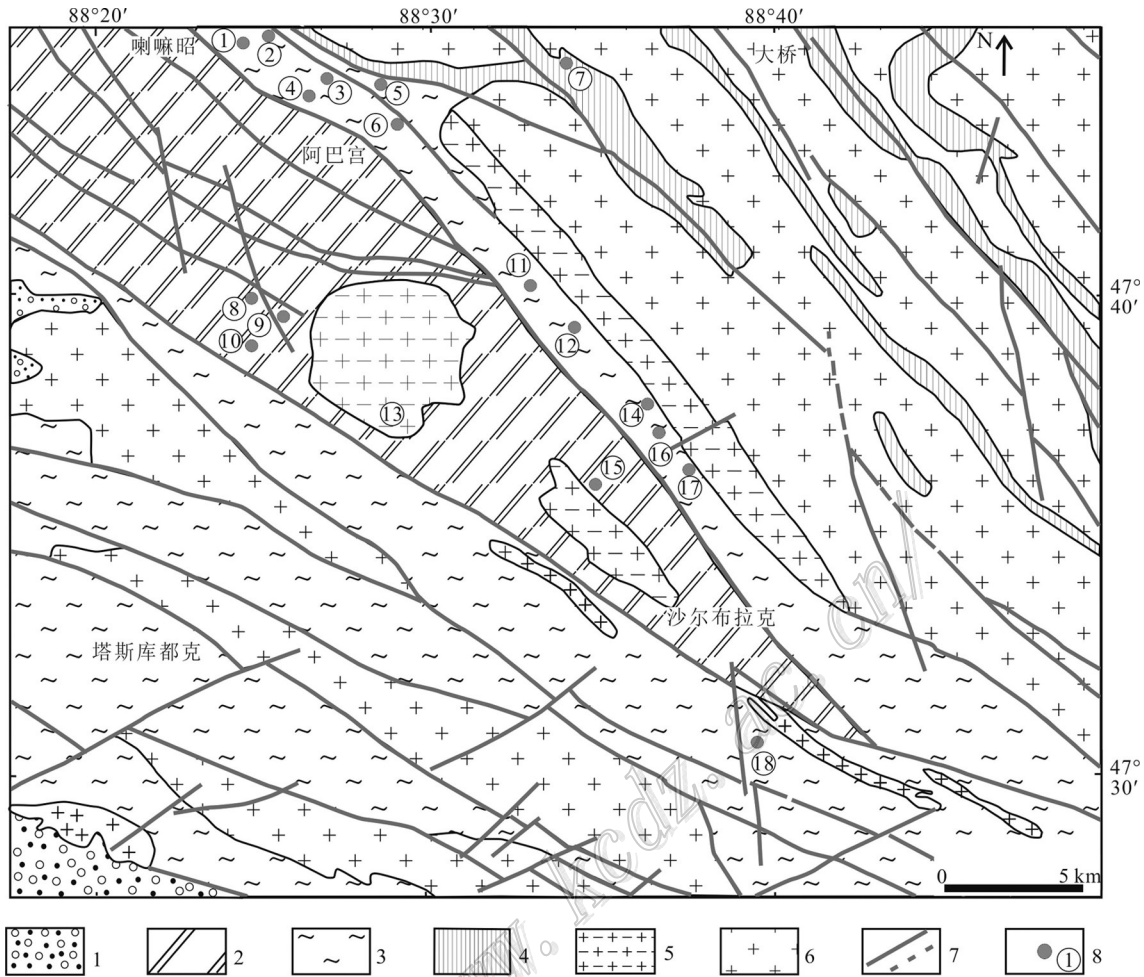


图 1 巴斯铁列克矿床区域地质略图(据杨富全等,2018 修改)

- 1—第四系沉积物;2—阿勒泰镇组变质沉积岩;3—康布铁堡组变质火山沉积岩;4—晚寒武-早奥陶世变质岩;5—二叠纪花岗岩;  
6—奥陶纪和泥盆纪花岗岩类;7—断层;8—矿床(点)及编号
- 矿床名称:①—小铁山铁磷矿;②—敦德布拉克铅锌矿点;③—塔拉特铅锌铁矿;④—阿巴宫铁磷矿;⑤—阿巴宫铍钼矿;⑥—塔拉特铅锌铁 A5 异常;⑦—葫芦宫铍钼矿;⑧—契别特铅锌矿;⑨—喀拉苏铜矿;⑩—哈拉苏铜铅锌矿;⑪—巴勒特尔铜矿点;  
⑫—克兹尔因白钨矿段;⑬—大喀拉苏铍钼矿;⑭—巴斯铁列克铁矿;⑮—加尔巴斯岛铁矿;  
⑯—巴斯铁列克铜锌钨矿段;⑰—巴斯铁列克东白钨矿段;⑱—萨尔布拉克铁矿
- Fig. 1 Simplified regional geological map of the Basitieleke deposit (modified after Yang et al., 2018)
- 1—Quaternary sediments; 2—Meta-sedimentary rocks of the Altay zhen Formation; 3—Meta-volcano-sedimentary rocks of the Kangbutiebao Formation; 4—Late Cambrian and Early Ordovician metamorphic rocks; 5—Permian granite; 6—Ordovician and Devonian granite;  
7—Fault; 8—Deposit (ore spot) and its number
- Name of the deposits: ①—Xiaotieshan Fe-P deposit; ②—Dundebulake Pb-Zn mines; ③—Talate Pb-Zn-Fe deposit; ④—Abagong Fe-P deposit;  
⑤—Abagong Be-Nb-Ta deposit; ⑥—The A5 anomaly of Talate Pb-Zn deposit; ⑦—Hulugong Nb-Ta deposit; ⑧—Qibiete Pb-Zn deposit;  
⑨—Kalasu Cu deposit; ⑩—Halasu Cu-Pb-Zn deposit; ⑪—Baleter Cu mines; ⑫—Keziergayin scheelite ore block;  
⑬—Dakalasu Be-Nb-Ta deposit; ⑭—Basitieleke Fe deposit; ⑮—Jiaerbasidao Fe deposit; ⑯—Basitieleke Cu-Zn-W ore block; ⑰—Basitieleke East scheelite ore block; ⑱—Saerbulake Fe deposit

质中酸性火山熔岩-火山碎屑岩-陆源碎屑岩-碳酸盐岩,阿勒泰镇组主要为变质浅海相及滨海相碎屑岩,局部夹基性火山岩和碳酸盐岩。克兰盆地主构造方向呈 NW-SE 向,以阿勒泰复式向斜为主,该向斜长

轴迹线大于 50 km,轴面倾向 NE。核部为阿勒泰镇组,两翼依次为康布铁堡组、库鲁木提群或上寒武统一奥陶统。向斜 SW 翼正常,NE 翼倒转。此外还有许多次级褶皱,北东翼由西向东发育雄库居尔特

向斜、莫尤勒特背斜、阿勒哈达依向斜、萨热阔布背斜和恰夏向斜;南西翼自西向东分布有克孜勒扎依劳背斜、小哈拉苏背斜、布尔昆布拉克背斜和杜拉特背斜等。区域内断裂构造十分发育,以NW向延伸的阿巴宫-库尔提断裂为主,另有NW向和NE向2组断裂。

克兰盆地及外围侵入岩以花岗岩为主,其时代有中-晚奥陶世(如阿巴宫北和铁木尔特北岩体时代为458~463 Ma,刘锋等,2008;柴凤梅等,2010)、早泥盆世(如小东沟岩体401~409 Ma, Zheng et al., 2016)、二叠纪(如喇嘛昭岩体279 Ma,王涛等,2005;可斯尔鬼岩体为287 Ma,刘锋等,2012)、三叠纪(如尚可兰202 Ma, Wang et al., 2008)。研究表明,巴斯铁列克钨多金属矿化与二叠纪侵入岩具有密切联系(后续文章讨论)。

## 2 矿床地质特征

矿区出露康布铁堡组上亚组,为一套火山岩夹沉积岩建造,主要岩性由浅粒岩、变粒岩、大理岩、黑云石英片岩组成,变质相主要为低绿片岩相,局部为高绿片岩相。该组为赋矿层位。阿巴宫断裂从矿区

北部贯穿全区,呈NW-SE向展布,走向约140°,长度大于20 km。矿区岩体为似斑状黑云二长花岗岩,与地层呈断层接触。岩体接触带康布铁堡组大理岩中发育多层矽卡岩。矽卡岩带呈带状,顺层分布,局部穿插多条伟晶岩脉。巴斯铁列克钨多金属矿化蚀变带长约10 km,宽约50~150 m,包括克兹尔尕因矿段(图2)、巴斯铁列克矿段(图3)和巴斯铁列克东矿段,其中克兹尔尕因矿段以白钨矿体为主,其次是铜矿体;巴斯铁列克矿段以铜锌矿体为主,其次是铜锌钨矿体;巴斯铁列克东矿段为白钨矿体。

巴斯铁列克矿段矽卡岩带地表断续长约1.5 km,厚约20~180 m,走向约140°,倾向南西,倾角75°~85°。单条矽卡岩厚度5~150 m,长度数十米至数百余米,大多呈透镜状或似层状,局部为囊状。矿体呈脉状和透镜状分布于矽卡岩中。在巴斯铁列克绿帘石榴子石矽卡岩中圈定10条多金属矿体,其中以L2-1、L2-2、L2-8号矿体规模较大,L2-2和L2-8为铜锌钨矿体。地表控制矿体长300~600 m,厚3.99~11.02 m,走向NW-SE,倾向SW,倾角65°~80°。

WO<sub>3</sub>平均品位为0.085%~0.48%,Cu平均品位为0.25%~0.36%,Zn平均品位为0.67%~1.40%,Au品位0.13~0.26 g/t(新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查

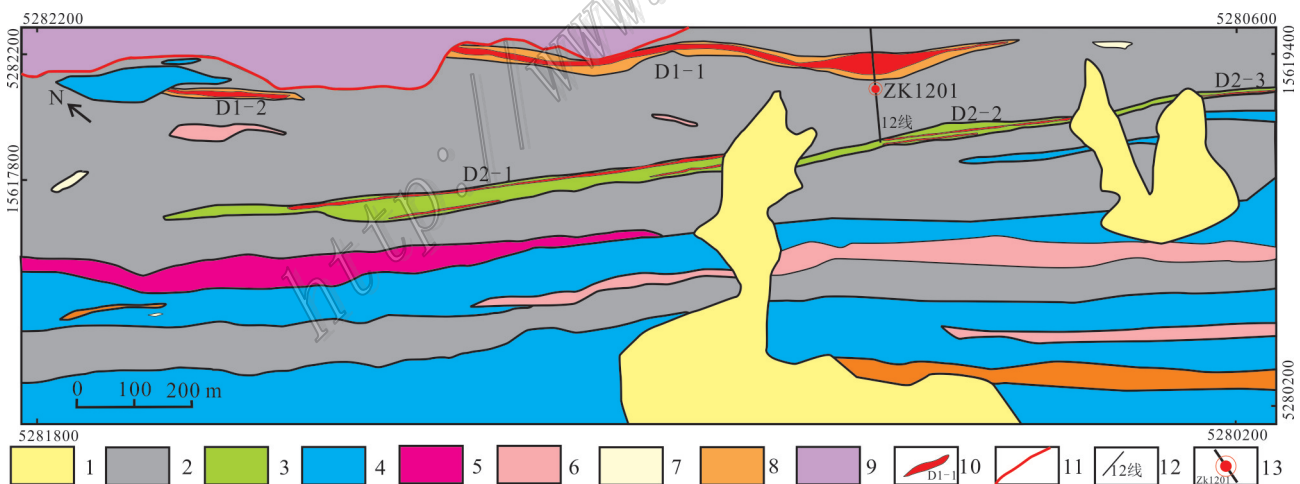


图2 克兹尔尕因矿段地质略图(新疆有色地质勘查局地质矿产勘查研究院,2016)

1—第四系沉积物;2—变粒岩;3—含堇青石变粒岩;4—黑云母石英片岩;5—含堇青石黑云母石英片岩;6—斜长角闪岩;  
7—石英脉;8—矽卡岩;9—黑云二长花岗岩;10—矿体及编号;11—断层;12—勘探线及编号;13—钻孔及编号

Fig. 2 Simplified geological map of the Kezieryayin ore block (after Institute of Mineral Exploration, Xinjiang Nonferrous Geoexploration Bureau, 2016)

1—Quaternary sediments; 2—Granulite; 3—Iolite-bearing granulite; 4—Biotite quartz schist; 5—Iolite-bearing biotite quartz schist;  
6—Amphibolite; 7—Quartz vein; 8—Skarn; 9—Biotite adamellite; 10—Orebody and its serial number; 11—Fault;  
12—Exploration line and its serial number; 13—Drill hole and its serial number

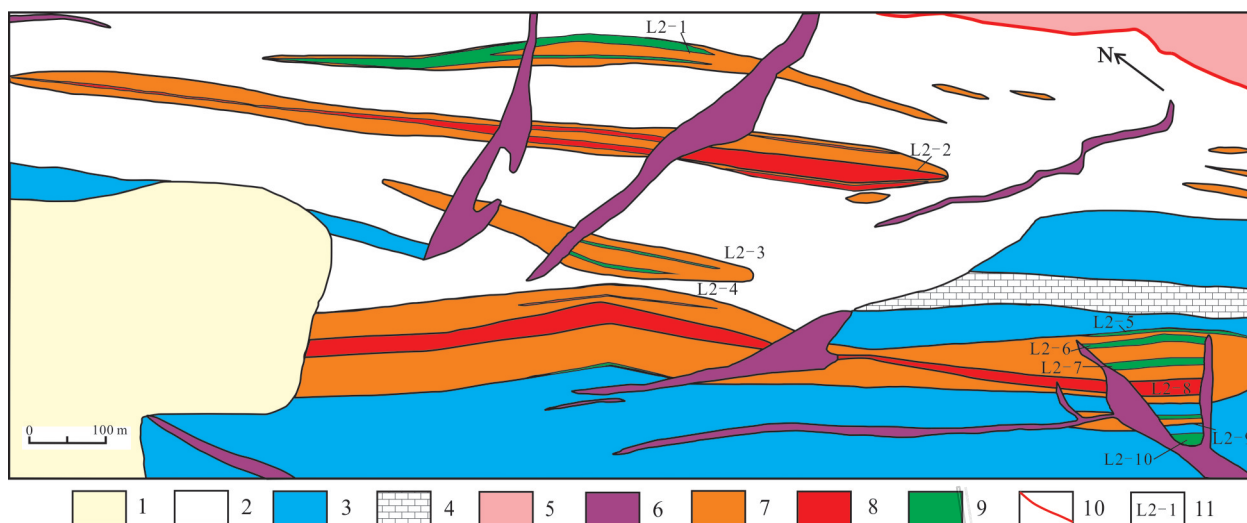


图 3 巴斯铁列克铜锌钨矿段地质略图(据新疆有色地质勘查局地质矿产勘查研究院,2016)

1—第四系沉积物;2—变粒岩;3—黑云母石英片岩;4—大理岩;5—黑云二长花岗岩;6—伟晶岩;7—矽卡岩;  
8—铜锌钨矿体;9—铜锌矿体;10—断层;11—矿体编号

Fig. 3 Simplified geological map of the Basitielieke Cu-Zn-W ore block (after Institute of Mineral Exploration, Xinjiang Nonferrous Geoexploration Bureau, 2016)

1—Quaternary sediments; 2—Granulite; 3—Biotite quartz schist; 4—Marble; 5—Biotite adamellite; 6—Pegmatite;  
7—Skarn; 8—Cu-Zn-W orebody; 9—Cu-Zn orebody; 10—Fault; 11—Orebody number

研究院,2016)。

克兹尔尕因矿段在矿区北西部,圈出 2 条白钨矿体(D1-1、D1-2),赋矿岩石为矽卡岩,矿体呈似层

状、透镜体状顺地层产出(图 3,4)。钨主矿体长 150~850 余米,厚 4.04~30.82 m,已控制主矿体沿倾向延深约 129 m。矿体  $WO_3$  平均品位 0.17%~0.28%(李

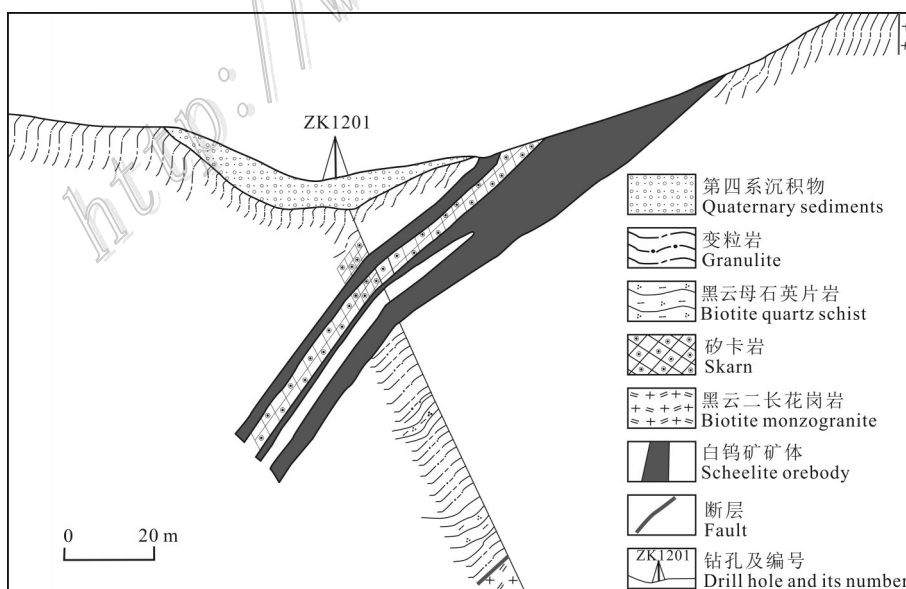


图 4 克兹尔尕因白钨矿段 12 勘探线剖面图(据新疆有色地质勘查局地质矿产勘查研究院,2016)

Fig. 4 Geological section along No. 12 exploration line in the Keziergayin scheelite ore block (after Institute of Mineral Exploration, Xinjiang Nonferrous Geoexploration Bureau, 2016)

永,2018)。在变粒岩中圈出4条铜矿体(D2-1~D2-3、D3-1),地表长约300~560 m,厚约1.25~2.83 m,但深部矿化不佳,地表Cu平均品位0.28%~1.35%。

巴斯铁列克东矿段圈出1条白钨矿体,主要赋存于石榴子石矽卡岩中,矿体长度350 m,厚2.71~

4.85 m,  $WO_3$  平均品位0.21%~0.59%(新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查研究院,2016)。矿石构造主要有块状、细脉状、网脉状、浸染状、团块状构造(图5)。矿石中金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、白钨矿、方铅矿、辉钼矿、黝锡矿、辉银

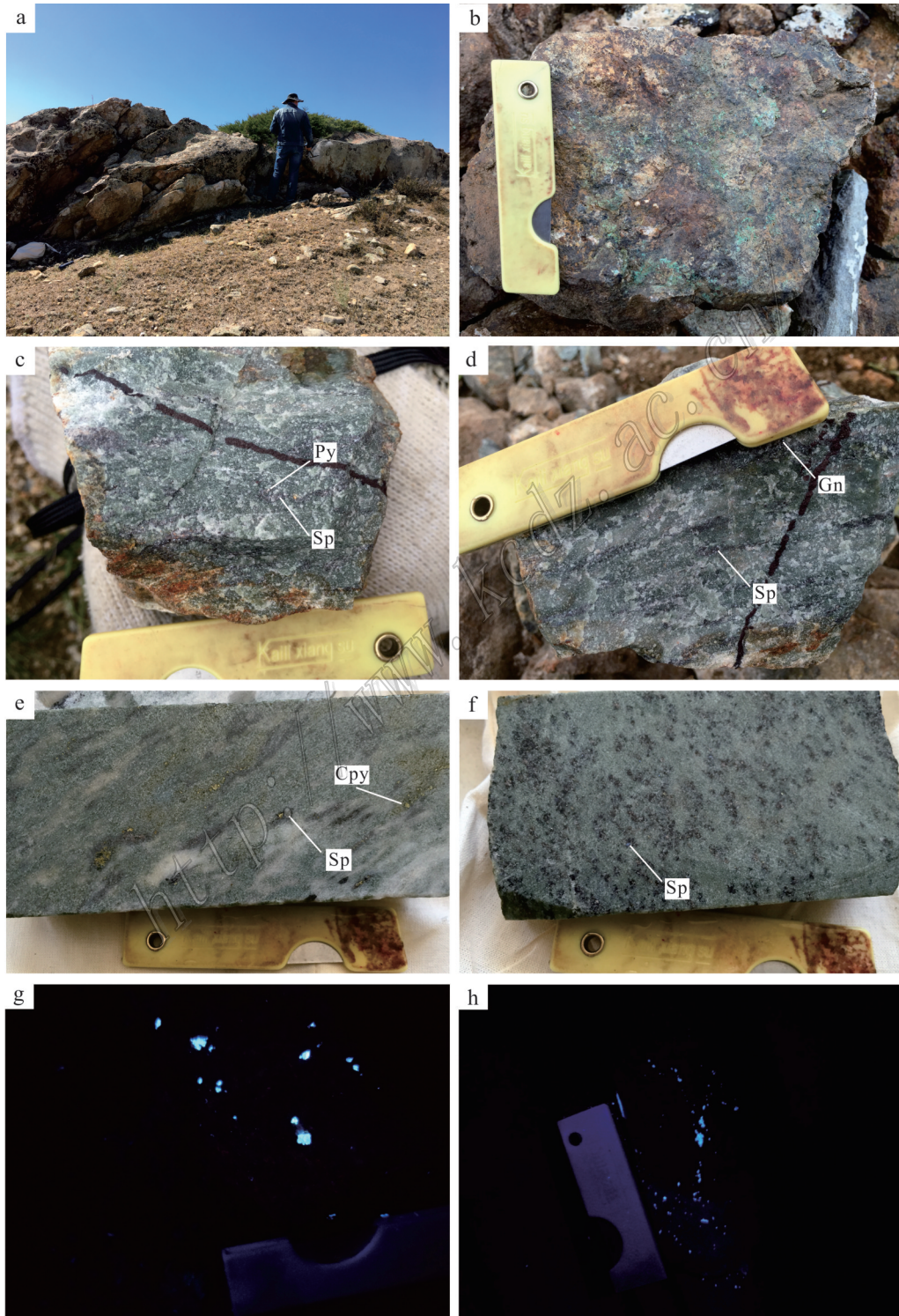


图5 巴斯铁列克钨多金属矿床矿化特征

- a. 探槽和铁帽;b. 褐铁矿化和孔雀石化;c. 细脉状黄铁矿闪锌矿穿切石英透辉石矽卡岩;d. 细脉状方铅矿闪锌矿穿切石英透辉石矽卡岩;  
e. 细脉状闪锌矿黄铜矿;f. 浸染状闪锌矿;g. 含团斑状、星点状白钨矿矽卡岩;h. 含团斑状、星点状白钨矿矽卡岩

Fig.5 Features of mineralization from the Basitlielike polymetallic W deposit

- a. Trench and gossan;b. Limonitization and malachitization; c. Pyrite-sphalerite veinlet cross-cutting quartz -diopside skarn; d. Galena-sphalerite veinlet cross-cutting quartz-diopside skarn; e. Sphalerite-chalcopyrite veinlet; f. Disseminated sphalerite; g. Massive porphyritic and dotted scheelite in the skarn; h. Massive porphyritic and dotted scheelite in the skarn

矿、毒砂、自然铋。非金属矿物有石榴子石、透辉石、角闪石、黝帘石、绿帘石、石英、斜长石、黑云母、萤石、电气石等。

### 3 热液蚀变与成矿期次

矿区内热液蚀变普遍发育,主要有矽卡岩化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化等,其中矽卡岩化与成矿关系密切。矽卡岩空间上分布于似斑状黑云二长花岗岩外接触带康布铁堡组大理岩附近,地层中发育2~3层,局部达4~5层矽卡岩。矽卡岩化分布不均匀,不连续,很少见成片成带的矽卡岩,大多以薄层状产出,总体上矽卡岩与地层产状一致。大理岩薄层多被完全交代蚀变为矽卡岩层,局部可见大理岩残留体,表明矽卡岩是岩浆热液交代大理岩的产物。矽卡岩分带性较弱,根据矿物组成可划分为透辉石矽卡岩、石榴子石透辉石矽卡岩、绿帘石石榴子石矽卡岩、绿帘石矽卡岩(图6,7)。多数铜锌矿体、钨矿体、铜锌钨矿体都分布于矽卡岩中,矿体与矽卡岩为过渡关系(图8)。矽卡岩主要矿物为石榴子石、透辉石、绿帘石、角闪石、斜长石,少量绿泥石、透闪石、萤石、电气石、黑云母、石英、钾长石、钠长石等。

在野外观察和室内镜下研究基础上,根据矿体特征、矽卡岩与矿体时空关系、矿脉穿插关系、矿物共生组合、生成顺序及矿石结构等特征,将矿床成矿过程划分为矽卡岩期和表生氧化期(图9),矽卡岩期可分为早期矽卡岩阶段、退化蚀变阶段和石英-硫化物阶段。

(1) 早期矽卡岩阶段又称干矽卡岩阶段,主要生成大量石榴子石和透辉石,晚期有少量白钨矿形成。透辉石分布广泛,但不均匀,呈半自形-他形柱状、粒状,粒径多为0.02~0.65 mm。单偏光镜下多为无色、浅绿色,有微弱多色性,横切面可见一组完全解理,正高突起,正交偏光下具有一级白黄色到二级蓝绿色干涉色,斜消光,大多数被绿帘石、石英、方解石等交代。石榴子石较破碎,半自形-他形粒状分布,粒径为0.02~0.4 mm,单偏光镜下呈褐红色,正高突起,糙面明显,正交偏光下全消光,部分有异常干涉色,呈一级灰白

色。钾长石单偏光镜下无色,呈半自形-他形粒状,粒径一般为0.4~1 mm,负低突起,无明显解理;正交偏光下可见正长石呈格子状双晶,一级灰白干涉色。该阶段白钨矿主要与石榴子石和透辉石共生,呈星点状、团斑状分布于早期矽卡岩矿物裂隙中(图5)。

(2) 退化蚀变阶段又称湿矽卡岩阶段,主要形成绿帘石,其次是角闪石、绿泥石、石英、斜长石、黑云母、黝帘石、黝锡矿,同时白钨矿大量出现,是钨矿的主要成矿阶段。绿帘石呈板状、不规则粒状,粒径为0.2~1.5 mm,普遍交代、包裹早期形成的透辉石、石榴子石,又被石英-硫化物阶段形成的萤石、方解石、石英等交代。单偏光镜下呈无色、灰绿色,正高突起,可见一组不完全解理,有裂理,正交偏光下干涉色为二级蓝绿。白钨矿呈浸染状、团斑状分布于石榴子石、透辉石、绿帘石、石英中。在荧光显微镜下观察白钨矿,其具有天青色光性反应,与野外钨灯照射观察现象基本一致。透射光下多呈粒状,无色,正高突起,糙面较明显;正交偏光下干涉色为一级黄白色。

(3) 石英-硫化物阶段,主要生成石英,少量方解石、萤石、电气石等矿物。萤石单偏光下呈不规则粒状,粒径为0.02~0.3 mm,负中突起,正交偏光下全消光。同时开始富集金属硫化物等,形成黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、磁黄铁矿、毒砂、方铅矿、辉银矿、自然铋。这些金属矿物多呈浸染状、团斑状、细脉状分布于矽卡岩矿物中。

表生氧化期主要有早期形成硫化物经过表生氧化作用形成黄钾铁矾、褐铁矿、孔雀石、铜蓝、蓝铜矿等矿物。

## 4 电子探针分析

### 4.1 样品及测试方法

用于电子探针分析的11样品均采自巴斯铁列克钨多金属矿地表和钻孔岩芯,主要岩性为矽卡岩、矿化矽卡岩和多金属矿石。

首先将样品磨制成探针片,进行显微镜下观察,其次圈定出不同阶段和产状的石榴子石、辉石、绿帘

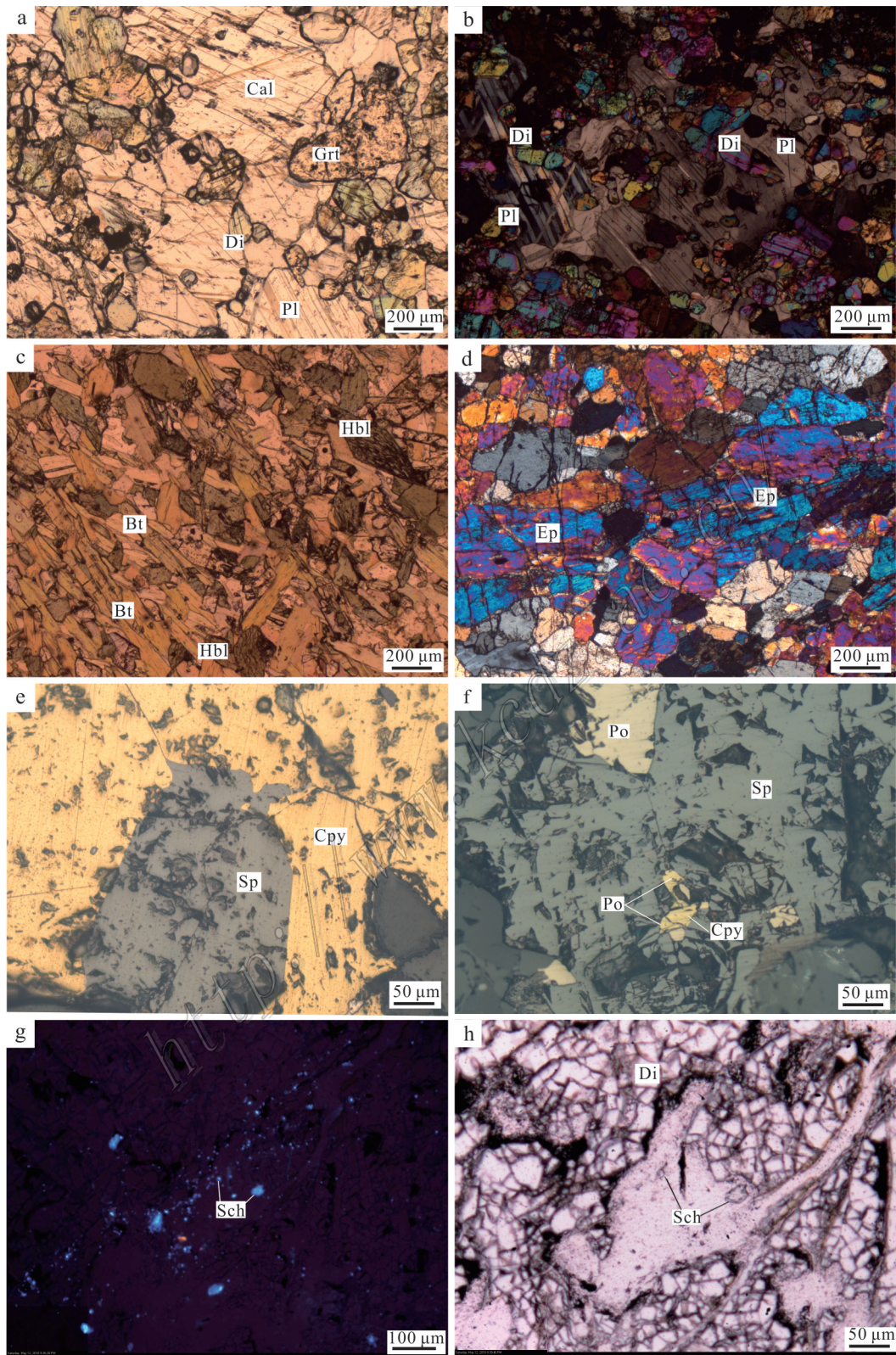


图6 巴斯铁列克钨多金属矿床矿物镜下特征

- a. 透辉石石榴子石被方解石和斜长石交代; b. 透辉石被斜长石交代; c. 角闪石黑云母砂卡岩; d. 绿帘石砂卡岩; e. 黄铜矿交代闪锌矿;  
 f. 磁黄铁矿黄铜矿交代闪锌矿; g. 荧光下含星点状白钨矿砂卡岩; h. 含团斑状白钨矿砂卡岩  
 Cal—方解石; Grt—石榴子石; Di—透辉石; Pl—斜长石; Hbl—角闪石; Bt—黑云母; Ep—绿帘石; Sp—闪锌矿;



Cpy—黄铜矿;Po—磁黄铁矿;Sch—白钨矿

Fig. 6 Photomicrographs of minerals from the Basitieleke W polymetallic deposit

a. Diopside and garnet replaced by calcite and plagioclase; b. Diopside replaced by plagioclase; c. Hornblende biotite skarn; d. Epidote skarn; e. Sphalerite replaced by chalcopyrite; f. Sphalerite replaced by pyrrhotite and chalcopyrite; g. Dotted scheelite in the skarn by fluorescence;

h. Massive porphyritic scheelite in the skarn

Cal—Calcite; Grt—Garnet; Di—Diopside; Pl—Plagioclase; Hbl—Hornblende; Bt—Biotite; Ep—Epidote; Sp—Sphalerite;

Cpy—Chalcopyrite; Po—Pyrrhotite; Sch—Scheelite

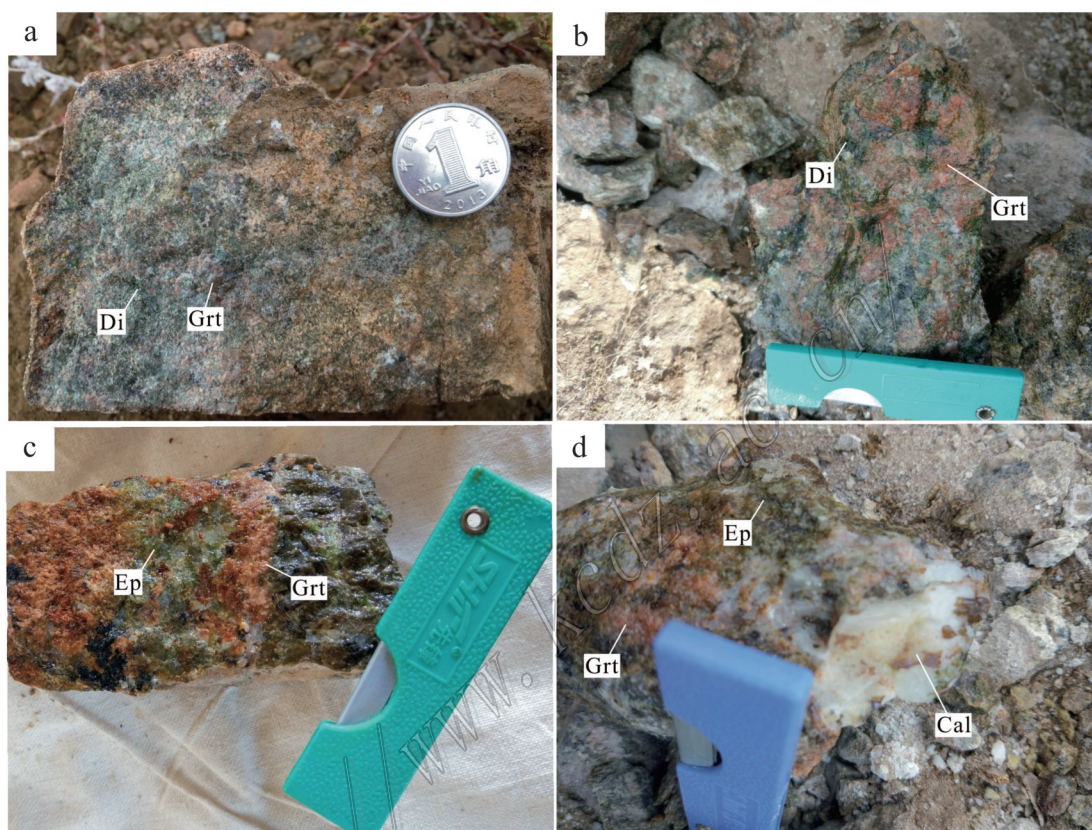


图7 巴斯铁列克钨多金属矿矽卡岩矿物组合

a. 含石榴子石透辉石矽卡岩; b. 透辉石石榴子石矽卡岩; c. 石榴子石绿帘石矽卡岩; d. 方解石石榴子石绿帘石矽卡岩

Di—透辉石; Grt—石榴子石; Ep—绿帘石; Cal—方解石

Fig. 7 Skarn mineral assemblage of the Basitieleke W polymetallic deposit

a. Garnet-bearing diopside skarn; b. Diopside garnet skarn; c. Garnet epidote skarn; d. Calcite garnet epidote skarn

Di—Diopside; Grt—Garnet; Ep—Epidote; Cal—Calcite

石、云母、硫化物等矿物。在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室进行电子探针分析,使用仪器型号为JXA-8230型电子探针,测试加速电压为20 kV,电流为20 nA,速斑为5  $\mu\text{m}$ ,标样采用天然矿物或合成金属国家标准,分析误差小于0.01%。

#### 4.2 分析结果

巴斯铁列克钨多金属矿5件辉石的电子探针分析结果及端员组分计算结果见表1。辉石的端员组分变化范围:Wo为49.14%~50.71%,En为24.38%~

27.76%,Fs为22.29%~24.27%,Ac为0.43%~1.09%。在Wo-En-Fs三元系辉石分类图解(图10)中,辉石端员组分主要为透辉石,少量钙铁辉石,为透辉石-钙铁辉石系列。

1件石榴子石的电子探针分析结果及端员组分计算结果如下: $w(\text{SiO}_2)=38.95\%$ , $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=20.58\%$ , $w(\text{FeO}^{\text{T}})=8.58\%$ , $w(\text{MgO})=0.21\%$ , $w(\text{CaO}_3)=28.59\%$ ,具有富铝钙,含少量铁镁的特征。计算石榴子石的端员组分:And为1.41%,Pyr为0.81%,Spe为1.85%,Gro为

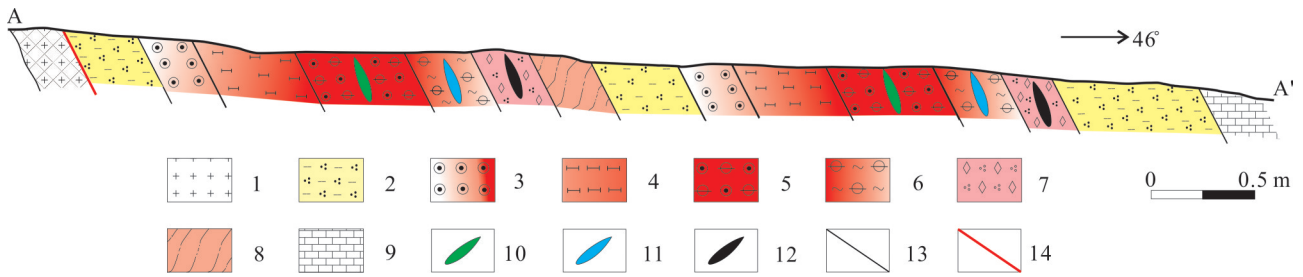


图8 巴斯铁列克钨多金属矿蚀变分带

1—黑云二长花岗岩;2—黑云母石英片岩;3—含白钨矿石榴子石矽卡岩;4—含白钨矿透辉石矽卡岩;5—含白钨矿石榴子石绿帘石矽卡岩;6—含白钨矿绿泥石绿帘石矽卡岩;7—石英方解石黄铜矿闪锌矿;8—变粒岩;  
9—大理岩;10—白钨矿体;11—铜锌钨矿体;12—铜锌矿体;13—整合接触界线;14—断层

Fig. 8 The alteration zoning of the Basitielieke W polymetallic deposit

1—Biotite adamellite; 2—Biotite quartz schist; 3—Scheelite-bearing garnet skarn; 4—Scheelite-bearing diopside skarn; 5—Scheelite-bearing garnet epidote skarn; 6—Scheelite-bearing chlorite epidote skarn; 7—Quartz calcite chalcopyrite sphalerite ore; 8—Granulite; 9—Marble;  
10—Scheelite orebody; 11—Cu-Zn-W orebody; 12—Cu-Zn orebody; 13—Conformable contact boundary; 14—Fault

78.31%, Alm 为 17.62%。主要为钙铝榴石, 少量铁铝榴石。

6 件黑云母分析结果见表 2。黑云母富 Al、Fe、

$w(\text{SiO}_2)=39.53\% \sim 40.824\%$ ,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=13.628\% \sim 14.807\%$ ,  $w(\text{FeO}^{\text{T}})=14.708\% \sim 15.877\%$ ,  $w(\text{MgO})=13.827\% \sim 15.314\%$ ,  $w(\text{F})=3.069\% \sim 4.239\%$ , 贫 K ( $w(\text{K}_2\text{O})$ )

成矿期次 主要矿物	矽卡岩期			表生氧化期
	早期矽卡岩阶段	退化蚀变阶段	石英硫化物阶段	
石榴子石	██████████			
透辉石	██████████			
斜长石	██████████			
钾长石	██████████			
黑云母		██████████		
绿帘石		██████████		
黝帘石		██████████		
绿泥石		██████████		
角闪石		██████████		
白钨矿		██████████		
黝锡矿		██████████		
石英			██████████	
方解石			██████████	
萤石			██████████	
电气石			██████████	
闪锌矿			██████████	
磁黄铁矿			██████████	
黄铁矿			██████████	
辉钼矿			██████████	
黄铜矿			██████████	
方铅矿			██████████	
辉银矿			██████████	
毒砂			██████████	
自然铋			██████████	
褐铁矿				██████████
孔雀石				██████████
黄钾铁矾				██████████
铜蓝				██████████
蓝铜矿				██████████

图9 巴斯铁列克钨多金属矿床成矿期次划分及矿物生成顺序

Fig. 9 Minerals forming sequence and mineralization periods of the Basitielieke W polymetallic deposit

表 1 巴斯铁列克钨多金属矿辉石电子探针分析及端员组分

Table 1 Electron microprobe analyses and end members of representative pyroxene from the Basitieleke W polymetallic deposit

组分	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK
	16-5-Q2-3	16-1-Q8-2	16-1-Q9-3	16-2-Q2-1	16-14-Q3-1
	w(B)%				
SiO <sub>2</sub>	53.417	53.131	52.497	52.661	52.688
TiO <sub>2</sub>	-	0.039	0.059	-	0.128
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.551	0.208	0.406	0.325	0.575
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.016	-	-	0.009	0.061
FeO	13.295	13.595	14.589	13.632	13.481
MnO	0.227	0.271	0.267	0.234	0.325
MgO	9.446	8.929	8.368	8.919	9.143
CaO	23.304	24.088	24.005	24.137	23.775
Na <sub>2</sub> O	0.188	0.112	0.287	0.126	0.254
K <sub>2</sub> O	0.015	0.012	0.019	0.002	-
总和	100.459	100.385	100.497	100.045	100.430
以 6 个氧原子和 4 个阳离子为基准计算的阳离子数及辉石端员					
Si	2.0168	2.0181	2.0055	2.0108	1.9927
Al(IV)	-	-	-	-	0.0073
Al(VI)	0.0245	0.0093	0.0183	0.0146	0.0183
Ti	-	0.0011	0.0017	-	0.0036
Cr	0.0005	-	-	0.0003	0.0018
Fe <sup>3+</sup>	0.0408	0.0334	0.0269	0.0268	0.0295
Fe <sup>2+</sup>	0.3788	0.3984	0.4390	0.4084	0.4232
Mn	0.0073	0.0087	0.0086	0.0076	0.0104
Mg	0.5317	0.5056	0.4766	0.5077	0.5155
Ca	0.9427	0.9803	0.9826	0.9875	0.9634
Na	0.0138	0.0083	0.0213	0.0093	0.0186
K	0.0007	0.0006	0.0009	0.0001	-
	w(B)%				
Wo	49.23	50.67	50.26	50.71	49.14
En	27.76	26.13	24.38	26.07	26.29
Fs	22.29	22.77	24.27	22.74	23.62
Ac	0.72	0.43	1.09	0.48	0.95

注:“-”代表未检出。

=8.676%~9.397%)。在黑云母 10TiO<sub>2</sub>-FeO-MgO 分类图解中(图 11),巴斯铁列克矿床黑云母主要为交代生成的,其端员组分为铁云母。

镜下可见钾长石被透辉石等矽卡岩矿物所包裹,与青海野马泉铁钨多金属矿中的透辉石-钾长石交代岩类似(刘建楠等,2013),样品采于岩体与矽卡岩间的过渡位,或为岩浆期后热液交代岩体的产物,属交代早期产物。3 件钾长石分析结果见表 3,其 An 牌号 0~0.14, Ab 牌号 6.21~7.13, Or 牌号 92.76~93.65。在长石分类图解中主要落在正长石区(图 12)。

5 件绿帘石成分分析见表 4。主要成分为 w(SiO<sub>2</sub>)

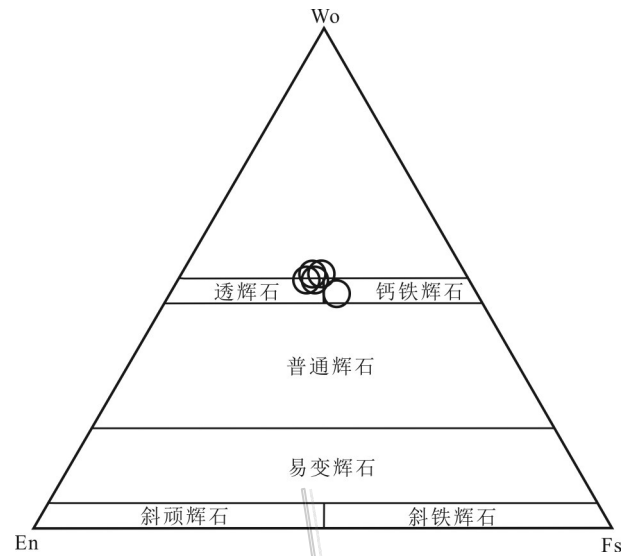


图 10 巴斯铁列克钨多金属矿辉石分类图解

(底图据 Morimoto et al., 1988)

Wo—硅灰石;En—顽火辉石;Fs—斜方铁辉石

Fig.10 Classification of clinopyroxenes from the Basitieleke W polymetallic deposit (base map after Morimoto et al., 1988)

Wo—Wollastonite; En—Enstatite; Fs—Ferrosilite

=39.474%~40.056%, w(CaO)=24.282%~24.741%, w(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)=28.528%~29.356%, w(FeO<sup>T</sup>)=4.674%~5.556%, 少量 MnO、Na<sub>2</sub>O 和 K<sub>2</sub>O, 具有富 Ca、Al, 贫 Fe 特征。与巴特巴克布拉克铁矿(杨俊杰等, 2016)相比, w(SiO<sub>2</sub>)、w(CaO)、w(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 都略高, w(FeO<sup>T</sup>) 则明显较低。2 件萤石成分分析见表 4。w(CaO)=70.015%~70.648%, w(F)=46.648%~47.054%, w(MgO)=0.008%~0.02%, w(Na<sub>2</sub>O)=0.003%~0.117%, w(TiO<sub>2</sub>)=0.073%。

闪锌矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黝锡矿、毒砂、自然铋、辉银矿成分见表 5。闪锌矿的 w(Zn) 为 53.2%~55.67%, 平均 54.61%; w(S) 为 33.16%~33.95%, 平均 33.53%。分子式为 Zn<sub>0.77-0.8</sub>Fe<sub>0.17-0.2</sub>Cd<sub>0-0.01</sub>S<sub>1.0</sub>, 与标准分子式 ZnS 相比, 富 Fe, w(Fe) 为 9.82%~11.48%, 平均 10.66%, 属于铁闪锌矿(蒋柏昌等, 2015), 含少量 Cd, w(Cd) 为 0.49%~0.87%, 平均 0.66%。磁黄铁矿的 w(Fe) 为 59.65%~60.39%, 平均为 60.02%, w(S) 为 38.37%~39.86%, 平均为 39.05%, w(Ni) 为 0.02%~0.05%。分子式为 Fe<sub>0.85-0.9</sub>S<sub>1.0</sub>, 与标准分子式 Fe<sub>1-x</sub>S 基本一致。在反射光下呈黄色反射色, 具有强非均质性, 交代绿帘石等矽卡岩矿物, 又被黄铜矿交代。黄铜矿的 w(S) 为 34.35%~34.9%, 平均为

表2 巴斯铁列克钨多金属矿黑云母电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analyses of representative biotite from the Basitieleke W polymetallic deposit

组分	BSTLK16-15-Q1-1	BSTLK16-15-Q2-1	BSTLK16-5-Q2-1	BSTLK16-5-Q2-2	BSTLK16-5-Q3-1	BSTLK16-18-Q2-1
	w(B)/%					
SiO <sub>2</sub>	39.53	40.156	40.277	39.664	40.611	40.824
TiO <sub>2</sub>	0.532	0.452	0.316	0.502	0.443	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.013	13.955	14.072	14.002	13.628	14.807
FeO <sup>T</sup>	14.708	15.048	15.619	15.877	14.918	15.016
MnO	0.135	0.09	0.109	0.085	0.122	0.037
MgO	13.827	14.563	14.717	14.305	15.314	15.074
CaO	-	0.006	-	-	0.029	-
Na <sub>2</sub> O	0.052	0.035	0.102	0.115	0.012	0.062
K <sub>2</sub> O	8.739	8.676	9.164	8.782	8.875	9.397
F	3.415	4.239	3.951	3.199	4.082	3.069
总和	94.951	97.22	98.327	96.531	98.034	98.916
	以11个氧原子为基准计算的阳离子数					
Si	3.035	3.034	3.015	3.004	3.037	2.996
Al <sup>□</sup>	0.965	0.966	0.985	0.996	0.963	1.004
Al <sup>□</sup>	0.303	0.276	0.257	0.254	0.238	0.277
Ti	0.031	0.026	0.018	0.029	0.025	0.035
Fe <sup>3+</sup>	0.268	0.260	0.209	0.225	0.238	0.227
Fe <sup>2+</sup>	0.677	0.691	0.769	0.781	0.695	0.695
Mn	0.009	0.006	0.007	0.005	0.008	0.002
Mg	1.582	1.64	1.642	1.615	1.707	1.649
Ca	-	-	-	-	0.002	-
Na	0.008	0.005	0.015	0.017	0.002	0.009
K	0.856	0.836	0.875	0.849	0.847	0.88
总和	7.732	7.740	7.791	7.775	7.762	7.773
MF	0.624	0.632	0.625	0.615	0.645	0.641
Al <sup>□</sup> +Fe <sup>3+</sup> +Ti	0.601	0.562	0.483	0.508	0.501	0.538
Fe <sup>2+</sup> +Mn	0.686	0.697	0.776	0.786	0.702	0.697
Ti/(Mg+Fe+Ti+Mn)	0.012	0.01	0.007	0.011	0.009	0.013
Al/(Al+Mg+Fe+Ti+Mn+Si)	0.185	0.180	0.180	0.181	0.174	0.186

注：“-”代表未检出；FeO<sup>T</sup>代表全铁。

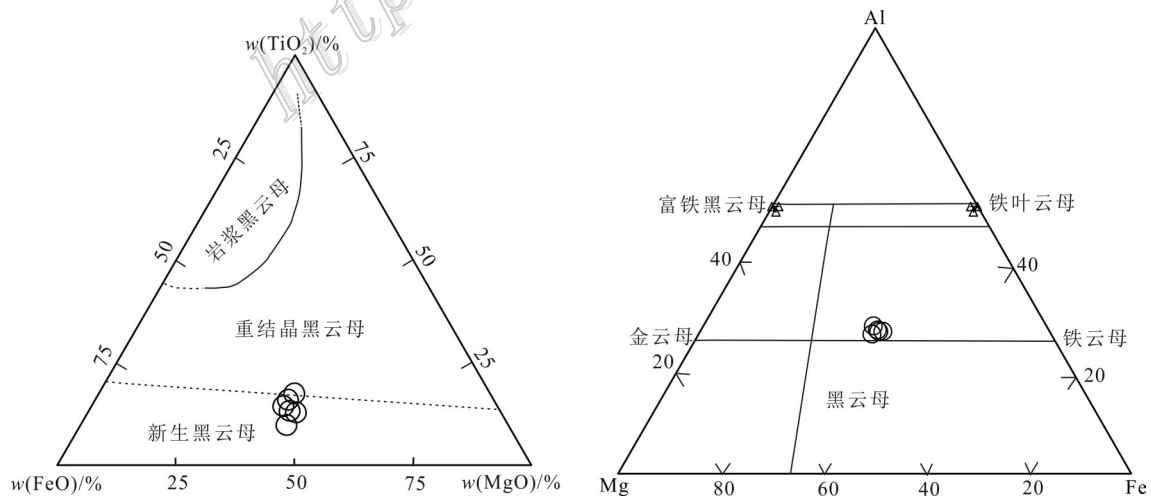


图11 巴斯铁列克钨多金属矿云母分类图解(底图据 Nachit et al, 2005; Sheppard et al., 1992)

Fig.11 Classification of mica from the Basitieleke W polymetallic deposit ( base map after Nachit et al, 2005; Sheppard et al., 1992)

表 3 巴斯铁列克钨多金属矿长石电子探针分析结果 (w(B)/%)

Table 3 Electron microprobe analyses (w(B)/%) of representative feldspar from the Basitieleke

W polymetallic deposit			
组分	BSTLK16-2-Q1-1	BSTLK16-2-Q1-2	BSTLK16-2-Q2-2
SiO <sub>2</sub>	66.89	66.317	65.229
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.313	18.297	18.752
CaO	-	0.021	0.026
Na <sub>2</sub> O	0.661	0.736	0.648
K <sub>2</sub> O	14.548	14.547	14.85
以 8 个氧原子为基准计算的阳离子数			
Si	3.039	3.031	3.0034
Al	0.9806	0.9856	1.0176
Ca	-	0.001	0.0013
Na	0.0582	0.0652	0.0578
K	0.8432	0.8482	0.8723
Ba	0.001	0.0039	0.001
An	-	0.11	0.14
Ab	6.46	7.13	6.21
Or	93.54	92.76	93.65

注:“-”代表未检出。

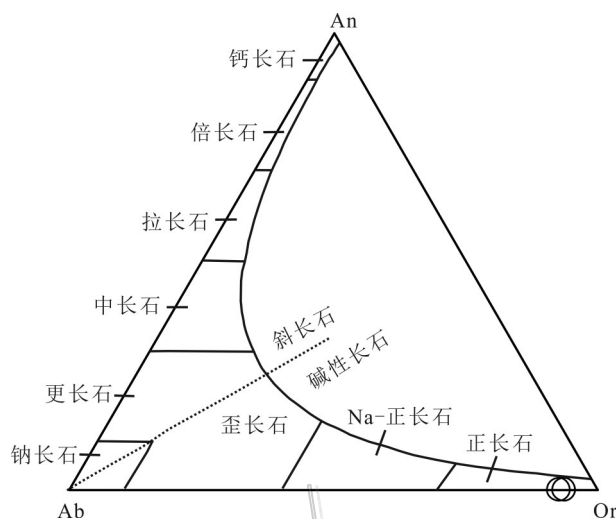


图 12 巴斯铁列克钨多金属矿长石分类图解 (底图据北京大学地质系岩矿教研室, 1979)

Fig. 12 Classification of the feldspars from the Basitieleke W polymetallic deposit (base map after Rock and Mineral Teaching and Research office in Department of Geology of Peking University, 1979)

34.62%; w(Fe)为 29.95%~30.88%, 平均为 30.25%, w(Cu)为 34.12%~34.84%, 平均为 34.44%。w(Co)和 w(Ni) 都很低, 且 w(Co) 大于 w(Ni), 分子式 Cu<sub>0.99-1.02</sub>Fe<sub>0.98-1.01</sub>S<sub>2.0</sub>, 与标准分子式 CuFeS<sub>2</sub> 基本一

致。反射光下呈深黄色, 均质性, 交代黄铁矿、磁黄铁矿。黝锡矿的 w(S)为 29.18%~30.09%, 平均为 29.7%, w(Fe)为 12.04%~12.94%, 平均为 12.42%, w(Sn)为 26.83%~27.78%, 平均为 27.37%, w(Cu)为

表 4 巴斯铁列克钨多金属矿矽卡岩矿物电子探针分析结果(w(B)/%)

Table 4 Electron microprobe analyses (w(B)/%) of the skarn minerals from the Basitieleke W polymetallic deposit

样号	矿物名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sup>T</sup>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	总和
BSTLK16-15-Q1-1	黑云母	39.53	0.532	14.013	0.116	14.708	0.135	13.827	-	0.052	8.739	3.415	95.067
BSTLK16-15-Q2-1	黑云母	40.156	0.452	13.955	0.045	15.048	0.09	14.563	0.006	0.035	8.676	4.239	97.265
BSTLK16-5-Q2-1	黑云母	40.277	0.316	14.072	0.025	15.619	0.109	14.717	-	0.102	9.164	3.951	98.352
BSTLK16-5-Q2-2	黑云母	39.664	0.502	14.002	0.085	15.877	0.085	14.305	-	0.115	8.782	3.199	96.616
BSTLK16-5-Q3-1	黑云母	40.611	0.443	13.628	0.022	14.918	0.122	15.314	0.029	0.012	8.875	4.082	98.056
BSTLK16-18-Q2-1	黑云母	40.824	0.63	14.807	0.029	15.016	0.037	15.074	-	0.062	9.397	3.069	98.945
BSTLK16-2-Q1-1	正长石	66.89	-	18.313	-	0.02	-	-	-	0.661	14.54	-	100.432
BSTLK16-2-Q1-2	正长石	66.317	-	18.297	0.01	-	-	-	0.021	0.736	14.54	-	99.928
BSTLK16-2-Q2-2	正长石	65.229	-	18.752	0.027	0.042	-	-	0.026	0.648	14.85	0.132	99.706
BSTLK16-1-Q1-1	绿帘石	39.474	-	28.528	0.001	5.556	0.034	0.049	24.355	0.015	0.001	-	98.013
BSTLK16-1-Q1-2	绿帘石	40.056	-	29.136	0.009	5.208	0.031	0.079	24.741	0.009	0.011	0.136	99.416
BSTLK16-1-Q1-3	绿帘石	39.788	-	29.356	-	4.674	-	0.03	24.282	0.002	0.005	0.19	98.327
BSTLK16-1-Q3-1	绿帘石	39.536	0.03	29.076	-	4.961	0.02	0.054	24.411	0.016	0.012	-	98.116
BSTLK16-1-Q8-1	绿帘石	39.844	0.01	28.922	-	5.183	0.017	0.018	24.409	-	-	-	98.403
BSTLK16-3-Q2-1	萤石	-	0.073	-	-	-	-	0.02	70.648	0.117	0.018	47.054	117.93
BSTLK16-3-Q2-2	萤石	0.001	-	0.011	-	-	-	0.008	70.015	0.003	-	46.648	116.686

注:“-”代表未检出;FeO<sup>T</sup>代表全铁。

表5 巴斯铁列克钨多金属矿床电子探针分析结果(w(B)/%)

		Table 5 Electron microprobe analyses (w(B)/%) of the metallic minerals from the Basitieleke W polymetallic deposit																	
组分	SBSTLK	SBSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	
	16-25-Q1-1	16-25-Q2-2	16-26-Q3-1	16-14-Q1-3	16-14-Q1-4	16-14-Q1-1	16-14-Q7-1	16-14-Q7-2	16-16-Q1-3	16-25-Q1-2	16-26-Q2-1	16-1-Q9-1	16-14-Q1-1	16-16-Q1-2	16-14-Q1-1	16-16-Q1-2	16-25-Q1-3	16-25-Q2-1	
As	-	-	-	0.02	0.03	-	-	-	0.13	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	-	-	
S	33.24	33.63	33.16	33.64	33.54	33.86	33.24	33.24	38.78	38.37	39	39.23	39.86	39	39.23	39.86	34.84	34.37	
Zn	54.33	53.2	54.05	55.67	54.78	54.51	54.71	54.71	-	0.06	-	-	-	-	0.04	0.04	0.03	0.07	
Sn	-	0.04	0.02	-	0.01	-	-	-	-	0.01	-	-	0.01	-	0.01	0.04	0.08	0.06	
Fe	10.74	11.48	10.07	9.82	10.06	10.71	11.13	11.13	60.39	60.24	60.15	59.66	59.65	60.15	59.66	30.11	29.95	30.29	
Cu	0.02	0.1	-	-	-	-	-	-	0.02	0.01	0.08	-	-	0.03	0.04	34.12	-	34.46	
Pb	-	-	-	-	0.03	-	-	-	0.01	0.07	0.08	-	-	0.03	0.26	-	-	-	
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.03	0.03	0.26	0.05	0.09	0.09	0.04	0.05	0.03	
Co	0.01	0.01	0.03	0.03	-	-	0.05	0.05	0.07	0.01	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.04	0.05	0.03	
Sb	-	-	-	0.02	-	-	-	-	0.03	0.01	-	-	-	-	-	-	0.02	-	
Bi	-	0.07	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	
Te	0.07	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.03	0.02	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.01	0.05	-	
Cd	0.71	0.71	0.87	0.49	0.55	0.53	0.6	0.6	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02	
总和	99.11	99.31	99.76	99.84	99.04	99.67	99.77	99.77	99.45	98.97	99.35	99.04	99.85	99.35	99.04	99.19	99.18	99.31	
定名	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	磁黄铁矿	黄铜矿	黄铜矿	黄铜矿
化学式	Zn <sub>0.8</sub> Fe <sub>0.19</sub>	Zn <sub>0.7</sub> Fe <sub>0.2</sub>	Zn <sub>0.78</sub> Fe <sub>0.19</sub>	Zn <sub>0.81</sub>	Zn <sub>0.8</sub> Fe <sub>0.17</sub>	Zn <sub>0.79</sub>	Zn <sub>0.8</sub> Fe <sub>0.19</sub>	Zn <sub>0.8</sub> Fe <sub>0.19</sub>	Fe <sub>0.89</sub> S	Fe <sub>0.9</sub> S	Fe <sub>0.88</sub> S	Fe <sub>0.81</sub> S	Fe <sub>0.85</sub> S	Fe <sub>0.88</sub> S	Fe <sub>0.99</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.01</sub> Fe <sub>1.02</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.01</sub> Fe <sub>1.02</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.01</sub> Fe <sub>1.02</sub> S <sub>2</sub>	

组分	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK	BSTLK
	16-26-Q2-2	16-1-O9-2	16-14-Q1-2	16-16-Q1-1	16-26-Q2-5	16-26-Q3-2	16-26-Q3-3	16-5-Q4-1	16-5-Q4-2	16-5-Q6-2	16-5-Q4-3	16-5-Q4-4	16-5-Q6-1	16-25-Q1-3				
As	0	0	0	0	0	0	0	46.22	46.14	48.11	0	0	0	0.04				
S	34.90	34.82	34.42	29.66	30.09	29.18	29.78	19.87	19.02	18.07	0	0	0	15.52				
Zn	0.02	0.05	0	0.59	2.45	0.63	1.64	0	0	0	0	0	0					
Sn	0.04	0.05	0	27.56	27.30	26.83	27.78	0	0	0	0	0	0					
Fe	29.96	30.88	30.32	12.21	12.52	12.94	12.41	33.86	33.65	32.61	0	0.04	0.03					
Cu	34.24	34.81	34.36	28.88	28.22	29.34	28.87	0.04	0	0	0	0.04	0					
Pb	0.06	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.09	0	0	0					
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0.39	0.88	0	0.03	0					
Co	0.02	0.08	0.05	0.01	0.02	0	0	0	0.17	0	0	0	0.01					
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.04	0	0.06	0.16					
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.50	99.99	99.65					
Ag	0	0	0	0.03	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0					
Te	0.06	0.05	0.08	0.21	0.25	0.22	0.25	0.05	0.04	0.05	0.05	0.02	0.05					
Cd	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0	0	0	0.02	0	0.22	0.18	0.22					
总和	99.303	100.749	99.249	99.14	100.851	99.136	100.78	100.27	99.287	100.016	99.766	100.359	100.114					
定名	黄铜矿	黄铜矿	黄铜矿	黝铜矿	黝铜矿	黝铜矿	黝铜矿	毒砂	毒砂	毒砂	自然铋	自然铋	自然铋					
化学式	Cu <sub>0.99</sub> Fe <sub>0.98</sub> S <sub>2</sub>	CuFe <sub>1.01</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.01</sub> Fe <sub>1.01</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.96</sub> Fe <sub>0.94</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.98</sub> Fe <sub>0.95</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>2.03</sub> Fe <sub>1.01</sub> S <sub>2</sub>	Cu <sub>1.96</sub> Fe <sub>0.92</sub> S <sub>2</sub>	Fe <sub>0.97</sub> S	Fe <sub>1.03</sub> S	Fe <sub>1.03</sub> S	Bi	Bi	Bi					

注:“-”代表未检出。

28.22%~29.34%,平均为28.85%。黝锡矿的分子式为 $\text{Cu}_{1.89-2.03}\text{Fe}_{0.92-1.01}\text{Zn}_{0.04-0.16}\text{Sn}_{0.98-1.01}\text{S}_4$ ,与标准分子式 $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ 基本一致,含少量Zn(0.59%~2.45%)和Te(0.21%~0.25%)。镜下可见黝锡矿被闪锌矿所包裹,又被黄铜矿交代,表明先形成黝锡矿,再形成闪锌矿,最后形成黄铜矿。毒砂的 $w(\text{S})$ 为18.07%~19.87%,平均为18.99%, $w(\text{Fe})$ 为32.61%~33.86%,平均为33.37%, $w(\text{As})$ 为46.14%~48.11%,平均为46.82%,分子式为 $\text{Fe}_{0.97-1.03}\text{As}_{0.99-1.14}\text{S}_{1.0}$ ,与标准分子式 $\text{FeAsS}$ 基本一致,此外含有少量Ni(0.22%~0.88%,平均0.5%)。毒砂结晶较好,呈菱形与具有格状双晶的自然铋共生,具有强非均质性,且穿插交代透辉石。辉银矿 $w(\text{Ag})$ 为76.68%, $w(\text{S})$ 为15.52%,分子式为 $\text{Ag}_{1.47}\text{Fe}_{0.23}\text{Cd}_{0.02}\text{S}$ ,与标准分子式相比富Fe,含少量Cd( $w(\text{Fe})=6.35\%$ , $w(\text{Cd})=0.89\%$ )。

## 5 讨论

### 5.1 矽卡岩成因及类型

矽卡岩根据形成机理的不同可分为交代矽卡岩和变质矽卡岩(Einaudi, 1981)。变质矽卡岩通常由区域变质作用形成。交代矽卡岩一般产于距侵入岩与碳酸盐类岩石接触带有一定距离的碳酸盐岩石中,由双交代作用形成,其通常与岩浆侵入作用有关,流体一般为岩浆期后热液,形成温度较高,这种矽卡岩被称为接触交代矽卡岩。研究表明流体沿裂隙交代火山岩同样可以形成矽卡岩,其矽卡岩矿物的形成过程和矿物成分与一般交代碳酸盐岩的矽卡岩并无不同,这种矽卡岩被称为类矽卡岩(Meinert et al., 2000; 赵一鸣, 2002)。巴斯铁列克钨多金属矿赋矿的矽卡岩主要为透辉石石榴子石矽卡岩,绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩,含方解石石英绿帘石透辉石石榴子石矽卡岩,其在空间上具有一定的分带性。这些矽卡岩分布于黑云二长花岗岩外接触带的康布铁堡组大理岩中,与侵入岩和大理岩有密切的成因联系,这些特征显示矽卡岩矿物为交代成因,是岩浆流体交代大理岩的产物。

按其矿物组成不同及其所反映的被交代碳酸盐岩围岩的岩性差别,赵一鸣等(2012)将矽卡岩划分为钙矽卡岩、镁矽卡岩、锰质矽卡岩和碱质矽卡岩。钙矽卡岩主要由钙铁-钙铝系列石榴子石、透辉石-钙铁辉石系列辉石、硅灰石和方柱石等组成,其围岩为

灰岩。镁矽卡岩主要组成矿物为镁橄榄石、蛇纹石、透辉石、尖晶石、金云母和硅镁石族等,其围岩为白云岩。锰质矽卡岩主要矿物为锰钙铁辉石、锰透辉石、锰钙辉石、钙蔷薇辉石、蔷薇辉石、锰三斜辉石、锰铝榴石、锰阳起石和锰透闪石等。锰质矽卡岩大多产于离侵入体接触带有一定距离的碳酸盐岩围岩的断裂构造和裂隙带中。巴斯铁列克矿床矽卡岩矿物组合为钙铝榴石、钙铁榴石、透辉石-钙铁辉石系列辉石、符山石、角闪石、绿帘石、绿泥石、黑云母、正长石、斜长石等,这些矿物组合与钙矽卡岩一致。矽卡岩是黑云二长花岗岩的岩浆侵入康布铁堡组,岩浆期后热液交代大理岩的产物。矽卡岩出现在外接接触带,黑云二长花岗岩中未发现矽卡岩,表明矽卡岩是接触渗透型钙质矽卡岩,是由于组分单向迁移而发生反应交代的结果,这与中国许多矽卡岩的形成以接触渗透型为主,扩散交代作用占次要地位一致(赵一鸣等, 2012)。

1个电子探针数据表明巴斯铁列克矿床中石榴子石主要为钙铝榴石,少量铁铝榴石,但显微镜下可以看到早期是钙铝榴石,晚期有钙铁榴石。与新疆阿尔泰蒙库、巴特巴克布拉克、乌吐布拉克和巴利尔斯矽卡岩型铁矿以钙铁榴石为主(And=60.41%~96.97%;徐林刚等, 2007;张志欣等, 2011;张同良等, 2013;杨俊杰等, 2016)明显不同,而与世界上矽卡岩型钨矿一致,早阶段石榴子石倾向于富Al,晚阶段石榴子石相对富Fe(Einaudi, 1981; Meinert, 1992),如湘中曹家坝矽卡岩型钨矿早阶段以钙铝榴石为主( $\text{Gr}_{65-91}$ ),次为钙铁榴石( $\text{And}_{0-23}$ ),晚阶段石榴子石以钙铝榴石为主( $\text{Gr}_{53-70}$ ),次为铁铝榴石-锰铝榴石( $\text{Alm}+\text{Sp}_{17-29}$ )(张志远等, 2016)。巴斯铁列克矿床5件辉石为透辉石-钙铁辉石过渡系列,以透辉石为主,其次是钙铁辉石,与世界范围内矽卡岩型钨矿中辉石的端员组分一致,但与湘中曹家坝矽卡岩型钨矿不同,该矿以钙铁辉石为主,含量变化于65.5%~77.4%(张志远等, 2016)。

Newberry(1998)将美国Alaska地区矽卡岩钨矿划分为还原型和氧化型,还原型矽卡岩钨矿中钙铁辉石为60%~90%,钙铁榴石为0~50%,锰铝榴石为5%~35%,铁铝榴石为5%~40%,金为0.7~1.9 g/t,主要金属矿物为白钨矿、自然金、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿。巴斯铁列克钨多金属矿矽卡岩中钙铁辉石为47%~50%,钙铁榴石为1.41%,锰铝榴石为1.85%,铁铝榴石为17.62%, $w(\text{Au})$ 为0.13~0.26 g/t,主要金属

矿物为白钨矿、自然金、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、黝锡矿、毒砂、自然铋、辉银矿,成矿元素是W、Cu、Zn、Au,这些特征总体上与还原性矽卡岩相似,不同于氧化性矽卡岩(如钙铁榴石为50%~100%,铁铝榴石为0, $w(\text{Au})$ 为0.01~0.06 g/t,主要金属矿物白钨矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿)。Sato (1980)和 Zaw (2000)提出在还原条件下形成的矽卡岩矿物具有较高的 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值,氧化条件下形成的矽卡岩矿物具有较低的 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值,如湘中曹家坝还原性矽卡岩型钨矿石榴子石中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值为2,辉石中绝大多数以 $\text{Fe}^{2+}$ 形式存在(张志远等,2016)。巴斯铁列克钨多金属矿石榴子石中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值高达18.8,辉石中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值为9.3~16.3。上述特征均表明巴斯铁列克钨多金属矿为还原型矽卡岩型矿床。

## 5.2 控矿因素

巴斯铁列克钨多金属矿为矽卡岩型矿床,其成矿受多种因素影响:①地层控矿:晚古生代地层是中国钨矿形成的最有利地层(毕承思,1987),如中国曹家坝大型白钨矿(张志远等,2016)、柿竹园白钨矿(龚庆杰等,2004)、瑶岗仙黑钨矿(王巧云等,2007)均与泥盆系有关。巴斯铁列克矿床也受地层控制,矿体产于上志留统一下泥盆统康布铁堡组的矽卡岩中,明显具有顺层分布特征,该地层中的层状大理岩可提供Ca质,为成矿提供有利条件。②岩体控矿:矿区东北部出露大面积似斑状黑云二长花岗岩,且由岩体到矿体再到大理岩层呈较明显蚀变分带现象,形成典型矽卡岩矿床,故黑云二长花岗岩或矿区隐伏花岗岩的岩浆为成矿提供成矿物质和成矿热液,同时成矿流体运移过程中萃取了地层中的部分成矿物质。③构造控矿:矿区位于阿勒泰复式向斜两翼,断裂构造极为发育,阿巴宫大断裂贯穿全区,频繁的构造运动和岩浆活动有利于成矿物质的聚集和成矿流体的运移。④矽卡岩控矿:在矽卡岩矿床中,钨矿化出现在矽卡岩形成后的退化蚀变阶段,这些蚀变实际上是一种脱钙作用,溶液中Ca的浓度较高,这个阶段Fe的浓度也高,但同时 $\text{H}_2\text{S}$ 的浓度也很高,所以黑钨矿不稳定而形成白钨矿(康永孚,1981)。

## 5.3 矽卡岩与成矿关系

赵一鸣等(1997)认为金属矿化类型与辉石Mn/Fe比值大小有关,矽卡岩型铁、金、锡、钼矿床和部分矽卡岩型铜矿床Mn/Fe比值一般 $<0.1$ ;矽卡岩型铅

锌矿床锰钙铁辉石Mn/Fe比值一般介于0.1~1,矽卡岩型钨矿床辉石Mn/Fe比值一般介于0.1~0.3。巴斯铁列克钨多金属矿床的辉石Mn/Fe比值在0.017~0.023之间,小于0.1,与矽卡岩型钨矿床有差别,但与矽卡岩型铜、钼矿床一致,主要与巴斯铁列克是矽卡岩型钨铜锌多金属化有关。

矽卡岩型矿床中单斜辉石和石榴子石的成分不仅能反映矽卡岩形成的氧逸度和酸性条件,而且与伴生的金属矿化类型密切相关。矽卡岩铜、金矿床中透辉石与钙铁榴石共生,反映其形成于酸度较低( $\text{pH}=5.4\sim 7.5$ )、氧逸度较高( $\lg f(\text{O}_2)=-20\sim -15.6$ )的氧化环境。钨钼矿化矽卡岩中透辉石和钙铁辉石与中等铝度的石榴子石共生, $\text{pH}$ 值为4.3~5.9, $\lg f(\text{O}_2)=-23.5\sim -20$ ,锡矿化矽卡岩是钙铁辉石和钙铝榴石共生,形成于酸度较高( $\text{pH}$ 值为3.5~5.5)、低氧逸度( $\lg f(\text{O}_2)=-25.5\sim -23$ )的还原环境(Einaudi, 1981;赵一鸣等,1997)。巴斯铁列克矿床中矽卡岩主要为透辉石,少量钙铁辉石,与钙铝榴石和钙铁榴石共生,不同于矽卡岩型铜矿、钨钼矿和锡矿,而是介于锡矿和铜、金矿之间,其形成环境中酸度和氧逸度变化较大,推测 $\text{pH}$ 值介于3.5~7.5, $\lg f(\text{O}_2)=-25.5\sim -15.6$ 。这种变化较大的酸度和氧逸度环境,不利于形成单矿种(如铜矿、钨矿),而有利于形成了钨、铜、锌、金多金属矿化,局部辉钼矿较多,矽卡岩中普遍发育黝锡矿,随着勘查的深入,锡有可能达到伴生品位。

矽卡岩矿床的形成大多经历一个复杂的过程,其不同矿物组合的形成与岩浆化学成分、围岩组分、形成深度和氧化还原条件等密切相关(Burton et al., 1982; Meinert, 1997),因此,通过对矽卡岩矿物组合、其化学组分、结构构造和交代关系等研究可以为矽卡岩形成过程的物理化学条件分析及成矿流体的运移方向提供重要依据。早期矽卡岩阶段,岩浆结晶作用使流体中出现高温气液(Jamtveit et al., 1993),也就是超临界流体,此时水解作用较差,流体与大理岩交代形成不含水的矽卡岩矿物,矿物组合主要为透辉石、钙铁辉石、钙铝榴石、钙铁榴石等矽卡岩矿物,这种矿物共生组合表明早期矽卡岩阶段流体呈低酸度、高氧逸度的特点(梁祥济, 1994;赵一鸣等,1997; Oyman, 2010)。巴斯铁列克钨多金属矿在早期矽卡岩阶段主要形成石榴子石和透辉石,少量正长石、钠长石,并有少量白钨矿形成。

退化蚀变阶段除了形成一些含水矽卡岩矿物



外,同时也是钨主要成矿阶段。随着温度降低,绿帘石、角闪石、黑云母、绿泥石等含OH<sup>-</sup>的矿物开始形成,大量消耗溶液中的H<sup>+</sup>,使溶液趋于碱性。退化蚀变阶段初期形成了含Fe极少的黝帘石,随后又形成含Fe的绿帘石,指示着成矿流体氧逸度有增高趋势。含矿热液交代围岩形成富F的黑云母( $w(F)=3.069\% \sim 4.239\%$ ),这种pH值升高,氧逸度降低和F等络合物的增多,促使钨的富集沉淀(Jackson et al., 1985a; 1985b; Halter et al., 1996; 于阿朋等, 2010),与流体中的Ca结合,形成白钨矿,同时还有少量伴生黝锡矿等。

石英-硫化物阶段,温度降低,此时O<sup>2</sup>-已经被大量消耗,氧逸度降低,成矿流体近还原环境,金属矿物大量沉淀,形成铁闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、毒砂、辉银矿、自然铋等,非金属矿物主要形成石英、方解石、电气石和萤石等,该阶段是铜锌金成矿阶段。

## 6 结 论

(1) 巴斯铁列克钨多金属矿为钙矽卡岩型矿床,矿体呈透镜状、似层状赋存黑云二长花岗岩外接触带康布铁堡组矽卡岩中,矽卡岩略具分带性。矽卡岩是岩浆热液交代大理岩的产物,属接触渗透型。

(2) 成矿过程分为早期矽卡岩阶段、退化蚀变阶段和石英-硫化物阶段,白钨矿主要形成于退化蚀变阶段,铁闪锌矿、黄铜矿等硫化物则形成于石英-硫化物阶段。

(3) 矿物化学成分分析表明,辉石端员组分以透辉石为主,少量钙铁辉石(Wo为49.14%~50.71%, En为24.38%~27.76%, Fs为22.29%~24.27%);石榴子石以钙铝榴石为主,黑云母主要为铁云母,钾长石为正长石,绿帘石具有富Ca、Al、贫Fe特征。闪锌矿为铁闪锌矿,其他金属矿物还有磁黄铁矿、黄铜矿、黝锡矿、毒砂、自然铋、辉银矿。

**致 谢** 参加野外工作的还有杨俊杰、任宇晨、苏振华和麻坤;野外工作期间,得到了新疆维吾尔自治区有色地质勘查局地质矿产勘查研究院田猛、李鹏等的帮助和指导;在项目实施过程中得到新疆维吾尔自治区有色地质勘查局七〇六队郭旭吉总工、王永强院长等领导及技术人员的帮助,在此表示衷心的感谢。

## References

- Bi C S. 1987. Basic geological characteristics of deposit in China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 9(3): 49-64(in Chinese with English abstract).
- Burton J C and Taylor L A. 1982. The  $f_{O_2}$ -T and  $f_{S_2}$ -T stability relations of hedenbergite and of hedenbergite-johannsenite solid solutions[J]. Econ. Geol., 77(4): 764-783.
- Chai F M, Dong L H, Yang F Q, Liu F, Geng X X and Huang C K. 2010. Age, geochemistry and petrogenesis of Tiemierte granites in the Kelang Basin at the southern margin of Altay, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(2): 377-386(in Chinese with English abstract).
- Department of Geology and Mineral Resources, Peking University. 1979. Optical mineralogy[M]. Beijing: Geological Publishing House. 180-182(in Chinese with English abstract).
- Einaudi M T. 1981. Skarn deposits[J]. Econ. Geol., 75: 317-391.
- Geological and Mineral Prospecting Research Institute of Nonferrous Geological Prospecting Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 2016. Report on mineral geology exploration results of Qibiete-Shaerbulake area in Altay, Xinjiang[R]. Inner Report (in Chinese).
- Gong Q J, Yu C W and Zhang R H. 2004. Physical chemistry study on the ore-forming process of Shizhuyuan tungsten-polymetallic deposit[J]. Earth Science Frontiers, 11(4): 617-625(in Chinese with English abstract).
- Han B F. 2008. A preliminary comparison of Mesozoic granitoids and rare metal deposits in Chinese and Russian Altai Mountains[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(4): 655-660(in Chinese with English abstract).
- Halter W E, Williams Jones A E and Kontak D J. 1996. The role of greisenization in cassiterite precipitation at the east Kemptville tin deposit, Nova Scotia [J]. Econ. Geol., 91: 368-385.
- Jackson K J and Helgeson H C. 1985a. Chemical and thermodynamic constraints on the hydrothermal transport and deposition of tin: I. Calculation of the solubility of cassiterite at high pressures and temperatures[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 49(1): 1-22.
- Jackson K J and Helgeson H C. 1985b. Chemical and thermodynamic constraints on the hydrothermal transport and deposition of tin: II. Interpretation of phase relations in the Southeast Asian tin belt[J]. Econ. Geol., 80(5): 1365-1378.
- Jamtveit B, Wogelius R A and Fraser D G. 1993. Zonation patterns of skarn garnets: Records of hydrothermal system evolution[J]. Geology, 21(2): 113-116.
- Jiang B C, Wei Y Z, Liu S Q, Liu R T and Yang F. 2015. Mineral assemblages and modes of occurrence of silver and gold in Naruo silver-gold deposit, western Guangxi[J]. Mineral Deposits, 34(4): 786-800(in Chinese with English abstract).
- Kang Y F. 1981. The geochemistry and the deposit types of tungsten[J].

- Geological Geochemistry, 9(1): 1-66(in Chinese with English abstract).
- Li Y. 2018. Geological characteristics and prospecting significance of wolfram deposit in the Basitieleke, southern margin of Altay, Xinjiang[J]. Xinjiang Non-Ferrous Metals, 3: 14-15.
- Liang X J. 1994. Garents of grossular-andradite series: Their characteristics and metasomatic mechanism[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 13(4): 342-352(in Chinese with English abstract).
- Liu F, Mao J W, Yang F Q, Li Y H, Chai F M, Geng X X and Yang Z X. 2008. SHRIMP U-Pb Ages of Abagong granites in the Altay orogeny and their geological implications[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(6): 795-804(in Chinese with English abstract).
- Liu F, Zhang C and Yang F Q. 2012. A study of chronology and ore-forming process of Jialbastro iron deposit on southern margin of Altay[J]. Mineral Deposits, 31(6): 1277-1288(in Chinese with English abstract).
- Liu J N, Feng C Y, Zhao Y M, Li D X, Xiao Y, Zhou J H and Ma Y S. 2013. Characteristics of intrusive rock, metusomatites, mineralization and alteration in Yemaquan skarn Fe-Zn polymetallic deposit, Qinhai Province[J]. Mineral Deposits, 32(1): 77-93.
- Meinert L D, Lentz D R and Newberry R J. 2000. A special issue devoted to skarn deposits-Introduction[J]. Econ. Geol., 95(6): 1183-1184.
- Meinert L D. 1992. Skarns and skarn deposits[J]. Geoscience Canada, 19(4): 145-162.
- Morimoto N. 1988. Nomenclature of pyroxenes[J]. Mineralogy & Petrology, 39(1): 55-76.
- Nachit H, Ibhi A and Abia E H. 2005. Discrimination between primary magmatic biotite, reequilibrated biotites and neofomed biotite[J]. Comptes rendus-Géoscience, 337(16): 1415-1420.
- Newberry R J. 1998. W and Sn skarn deposits: A 1998 status report[R]. Mineralogical Association of Canada Short Course Series, 289-335.
- Oyman T. 2010. Geochemistry, mineralogy and genesis of the Ayazmant Fe-Cu skarn deposit in Ayvalik, (Balıkesir), Turkey[J]. Ore Geology Reviews, 37(3): 175-201.
- Potseluev A A, Babkin D I and Kotegov V I. 2006. The Kalguty complex deposit, the Gorny Altai: Mineralogical and geochemical characteristics and fluid regime of ore formation[J]. Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii, 48(5): 439-459(in Russian).
- Sato K. 1980. Tungsten skarn deposit of the Fujigatani mine, South-west Japan[J]. Econ. Geol., 75(7): 1066-1082.
- Sheppard S and Taylor W R. 1992. Barium and LREE-rich, olivine-mica-lamprophyres with affinities to lamproites, Mt. Bundey, Northern Territory, Australia[J]. Lithos, 28(3-6): 303-325.
- Wang T, Hong D W, Tong Y, Han B F and Shi Y R. 2005. Zircon U-Pb SHRIMP age and origin of post-orogenic Lamazhao granitic pluton from Altai orogeny: Its implications for vertical continental growth[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 640-650(in Chinese with English abstract).
- Wang T, Jahn B M and Kovachet V P. 2008. Mesozoic granitic magmatism in the Altai Paleozoic accretionary orogeny, NW China, and its implications for crustal architecture and growth[C]. Abstract SE53-A010, AOGS 5th Annual General Meeting, Busan, Korea.
- Wang Q Y, Hu R Z and Peng J T. 2007. Characteristics and significance of the fluid inclusions from Yaogangxian tungsten deposit in south of Hunan[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2263-2273(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, Chai F M and Gao J J. 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).
- Yang F Q, Wang Y Q, Yang C D, Guo X J and Li Q. 2018. Metallic ore deposits in the Kelan Basin, Altay, Xinjiang: Geological characteristics and metallogenesis[J]. Mineral Deposits, 37(3): 441-462(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Chai F M, Li Q, Gu G L and Yang C D. 2017. The discovery of the Late Cambrian-Early Ordovician strata in the basement of the Kelan Basin, Altay, Xinjiang: Constrains from zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb dating[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(6): 859-871(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Mao J W, Zheng J M, Xu L G, Liu D Q, Zhao C S and Ye H S. 2006. Geology and metallogenic model of the Altay large metallogenic belt in Kazakhstan[J]. Acta Geologica Sinica, 80(7): 963-983(in Chinese with English abstract).
- Yang J J, Yang F Q, Chai F M and Baletabieke B. 2016. Skarn mineral characteristics of Batebakebulake iron deposit in Altay, Xinjiang, and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 35(4): 758-774(in Chinese with English abstract).
- Yu A P, Wang R C, Zhu J C, Xie L, Zhang W L and Che X D. 2010. Mineralogical study on greisenization zoning and tin mineralization in Huashan granite, Guangxi, South China[J]. Geological Journal of China Universities, 16(3): 281-293(in Chinese with English abstract).
- Zaw K. 2000. Formation of magnetite-scheelite skarn mineralization at Kara, Northwestern Tasmania: Evidence from mineral chemistry and stable isotope[J]. Econ. Geol., 95(6): 1215-1230.
- Zhai Y S, Yao S Z and Cai K Q. 2011. Mineral deposit (3rd Edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House. 96-98(in Chinese).
- Zhang T L, Zang M, Qin J H, Zhao Z H and He L X. 2013. Characteristics of skarn mineral from Baliersi iron deposit in Altay, Xinjiang, and its geological significance[J]. J Mineral Petrol, 33(4): 7-16(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z X, Yang F Q, Luo W C, Liu F, Chai F M, Lv S J, Ou Y L J and Jiang L P. 2011. Skarn mineral characteristics of the Wutubulake iron deposit in Altay, Xinjiang, and their geological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(2): 267-280(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Y, Xie G Q, Zhu Q Q, Li W, Han Y X and Wang F L. 2016. Mineralogical characteristics of skarns of Caojiaba large tungsten deposit in central Hunan Province and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 35(2): 335-348(in Chinese with English abstract).

lish abstract).

Zhao Y M, Feng C Y and Li D X. 2017. New progress in prospecting for skarn deposits and spatial-temporal distribution of skarn deposits in China[J]. Mineral Deposits, 36(3): 519-563(in Chinese with English abstract).

Zhao Y M, Zhang Y N and Lin W W. 1997. 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 Y M. 2002. Skarn new important advances in study of skarn deposits[J]. Mineral Deposits, 21(2): 113-121(in Chinese with English abstract).

Zhao Y M, Lin W W, Bi C S, Li D X and Jiang C J. 2012. Skarn ore deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-411(in Chinese).

Zheng J H, Chai F M and Yang F Q. 2016. The 401-409 Ma Xiaodonggou granitic intrusion: Implications for understanding the Devonian tectonics of the northwest China, Altai orogeny[J]. International Geology Review, 58(5): 540-555.

#### 附中文参考文献

北京大学地质系岩矿教研室. 1979. 光性矿物学[M]. 北京: 地质出版社. 180-182.

毕承思. 1987. 中国矽卡岩型白钨矿矿床成矿基本地质特征[J]. 地球学报, 9(3): 49-64.

柴凤梅, 董连慧, 杨富全, 刘锋, 耿新霞, 黄承科. 2010. 阿尔泰山南缘克朗盆地铁木尔特花岗岩体年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 26(2): 377-386.

龚庆杰, 於崇文, 张荣华. 2004. 柿竹园钨多金属矿床形成机制的物理化学分析[J]. 地学前缘, 11(4): 617-625.

韩宝福. 2008. 中俄阿尔泰山中生代花岗岩与稀有金属矿床的初步对比分析[J]. 岩石学报, 24(4): 655-660.

蒋柏昌, 韦银泽, 刘苏桥, 刘融涛, 杨锋. 2015. 桂西那弱银金矿床矿物组合特征及银和金的赋存状态研究[J]. 矿床地质, 34(4): 786-800.

康永孚. 1981. 钨的地球化学与矿床类型[J]. 地质地球化学, 9(1): 1-66.

李永. 2018. 新疆阿尔泰山南缘巴斯铁列克白钨矿床地质特征及找矿意义[J]. 新疆有色金属, 3: 14-15.

梁祥济. 1994. 钙铝-钙铁系列石榴子石的特征及其交代机理[J]. 岩石矿物学杂志, 13(4): 342-352.

刘锋, 毛景文, 杨富全, 李延河, 柴凤梅, 耿新霞, 杨宗喜. 2008. 阿尔泰山造山带阿巴官花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 29(6): 795-804.

刘锋, 张超, 杨富全. 2012. 新疆阿尔泰山南缘加尔巴斯套铁矿床成矿时

代及成矿作用研究[J]. 矿床地质, 31(6): 1277-1288.

刘建楠, 丰成友, 赵一鸣, 李大新, 肖晔, 周建豪, 马永寿. 2013. 青海野马泉矽卡岩铁锌多金属矿区侵入岩、交代岩及矿化蚀变特征[J]. 矿床地质, 32(1): 77-93.

王涛, 洪大卫, 童英, 韩宝福, 石玉若. 2005. 中国阿尔泰山造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义[J]. 岩石学报, 21(3): 640-650.

王巧云, 胡瑞忠, 彭建堂等. 2007. 湖南瑶岗仙钨矿床流体包裹体特征及其意义[J]. 岩石学报, 23(9): 2263-2273.

新疆维吾尔自治区有色地质矿产勘查研究院. 2016. 新疆阿勒泰市契别特-沙尔布拉克地区矿产地质调查成果报告[R]. 内部报告.

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. 2007. 新疆蒙库铁矿床矽卡岩矿物学特征及其意义[J]. 矿床地质, 26(4): 455-463.

杨富全, 王永强, 杨成栋, 郭旭吉, 李强. 2018. 新疆阿尔泰克朗盆地金属矿床地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 37(3): 441-462.

杨富全, 柴凤梅, 李强, 谷高灵, 杨成栋. 2017. 新疆阿尔泰克朗盆地基底发现晚寒武世-早奥陶世地层——来自 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 地球学报, 38(6): 859-871.

杨富全, 毛景文, 郑建民, 徐林刚, 刘德权, 赵财胜, 叶会寿. 2006. 哈萨克斯坦阿尔泰巨型成矿带的地质特征和成矿模型[J]. 地质学报, 80(7): 963-983.

杨俊杰, 杨富全, 柴凤梅, 巴合达尔·巴勒塔别克. 2016. 新疆阿尔泰巴特巴克布拉克铁矿床矽卡岩矿物特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 35(4): 758-774.

于阿朋, 王汝成, 朱金初, 谢磊, 张文兰, 车旭东. 2010. 广西花山花岗岩云英岩化分带与锡成矿过程的矿物学研究[J]. 高校地质学报, 16(3): 281-293.

翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 2011. 矿床学(第三版)[M]. 北京: 地质出版社. 96-98.

张同良, 藏梅, 秦纪华, 赵忠合, 何立新. 2013. 新疆阿尔泰巴利尔斯特矿床矽卡岩矿物特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 33(4): 7-16.

张志欣, 杨富全, 罗五仓, 刘锋, 柴凤梅, 吕书君, 欧阳刘进, 姜丽萍. 2011. 新疆阿尔泰乌吐布拉克铁矿床矽卡岩矿物特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 30(2): 267-280.

张志远, 谢桂青, 朱乔乔, 李伟, 韩颖霄, 王凤兰. 2016. 湘中曹家坝大型钨矿床的主要矽卡岩矿物学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 35(2): 335-348.

赵一鸣, 丰成友, 李大新. 2017. 中国矽卡岩矿床找矿新进展和时空分布规律[J]. 矿床地质, 36(3): 519-543.

赵一鸣, 林文蔚, 毕成思, 李大新, 蒋崇俊. 2012. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1-411.

赵一鸣, 张铁男, 林文蔚. 1997. 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. 2002. 夕卡岩矿床研究的某些重要新进展[J]. 矿床地质, 21(2): 113-120.