

文章编号: 0258-7106(2013)01-0037-18

东昆仑祁漫塔格西段白干湖超大型钨锡矿田 地质特征及其矿化交代岩分类*

李大新¹, 丰成友¹, 周安顺², 李洪茂², 李鑫², 刘建楠¹, 肖晔¹

(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 吉林省地质调查院, 吉林 长春 130061)

摘要 白干湖钨锡矿田位于东昆仑祁漫塔格西段新疆维吾尔自治区若羌县境内。笔者通过对柯可卡尔德、白干湖、巴什尔希和阿瓦尔4处矿床实地剖析, 认为这些矿床已构成一个集砂卡岩型、云英岩化花岗岩微细网脉浸染型和石英脉型交代、充填叠加复合的具超大型远景规模的钨锡矿田。矿田内矿化类型显示出一定的分布规律或分带性: 即产于花岗岩边部外接触带的砂卡岩型白钨矿矿体, 呈透镜状或似层状分布在金水口群浅变质岩系大理岩内; 产于花岗岩小突起内侧及其顶部外接触带伸枝脉岩的云英岩化花岗岩微细网脉浸染型钨锡矿体, 前者呈厚板状透镜体面型分布, 后者则呈脉状线型分布于围岩地层中; 产于隐伏花岗岩突起上部外接触带的石英脉充填交代型锡石黑钨矿矿体, 其因受区域NE向白干湖深大断裂构造限制, 多呈低缓角度的平行脉状充填于金水口群浅变质岩系的绢云石英片岩中。根据矿石矿物组合等特征, 矿田内的矿化蚀变可划分为3种: 即砂卡岩化、云英岩化(包括钠长石化、电气石化等)和硅化。研究表明, 矿田内砂卡岩型白钨矿化、云英岩化花岗岩微细网脉浸染型钨锡矿化和石英脉充填交代型锡石黑钨矿化构成一个与加里东期中细粒(似斑状)二长花岗岩侵入活动有成因联系的矿田成矿系列, 属于岩浆期后高温-气热液交代和中低温热液充填交代形成的产物。

关键词 地质学 地质特征 交代、充填矿化类型 白干湖钨锡矿田 祁漫塔格 东昆仑

中图分类号: P618.67; P618.44

文献标志码: A

Geological characteristics and mineralization-metasomatite classification of superlarge Baiganhu tungsten-tin orefield in western Qimantag, East Kunlun Mountains

LI DaXin¹, FENG ChengYou¹, ZHOU AnShun², LI HongMao², LI Xin², LIU JianNan¹ and XIAO Ye¹

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Jilin Geological Survey, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract

The Baiganhu tungsten-tin orefield is located in Ruoqiang County of Xinjiang, lying in the west of the Qimantag Mountain along the East Kunlun Mountains. The authors hold that several ore deposits such as Kekekaerde Baiganhu, Bashierxi and Aerwa constitute the superlarge tungsten-tin orefield characterized by the combination of the skarn type, the greisenized granite fine veinlet dissemination type and the quartz vein type. Mineralization types show certain extent of distribution and zoning inside the orefield: the scheelite skarn deposit

* 本文得到国家自然科学基金项目(批准号:41172076)、中国博士后科学基金项目(编号:20090460132)、中国地质调查局地质调查项目(1212011085528)和中国地质调查局青年地质英才计划(201112)的联合资助

第一作者简介 李大新,男,1952年生,研究员,长期从事金属矿床及交代岩岩石学研究。Email:daxinli50@yahoo.com.cn

收稿日期 2012-03-17; 改回日期 2012-11-20。张绮玲编辑。

occurs in the outer contact zone of granite, the ore bodies stratoid and lenticular in form distributed in the marble of the epimetamorphic rock series of Jinshuikou Group; the tungsten-tin ore bodies of greisenized granite fine veinlet dissemination type lie inside the small bumps of the granite and extended veins of the outer contact zone, the former is in areal distribution in the form of thick plate lens, and the latter is in linear distribution in surrounding rocks; cassiterite-wolframite ore bodies of quartz vein type are seen in the outer contact zone of the upper bumps of concealed granite. Confined by regional NE-trending Baiganhu deep fault, the ore bodies in the form of parallel veins are filled in epimetamorphic sericite-quartz schist of Jinshuikou Group at a low angle. According to the characteristics of the ore mineral combination, the mineralization alteration in the orefield can be divided into three main types: skarn, greisenization (including albitization, tourmalinization) and silicification. Studies show that three different ore bodies which have genetic relationship with the adamellite invasive activity in Caledonian constitute the metallogenic series of the orefield and belong to the metasomatism of the post-magmatic high temperature-tungsten and tin type.

Key words: geology, geological characteristics, metasomatic and filling mineralization type, Baiganhu tungsten and tin orefield, Qimantag, East Kunlun Mountains

白干湖钨锡矿田是由吉林省地质调查院第一地质队于2001年在新疆若羌东昆仑西段进行1:10万水系沉积物测量时首次发现柯可卡尔德钨锡矿床后,近些年又在白干湖一带相继找到了白干湖、巴什尔希和阿瓦尔钨锡等矿床,从而构成一个超大型钨锡矿田,显示出东昆仑-阿尔金成矿区带找钨的重大突破和钨矿资源的巨大潜力。随着前期勘查工作的不断深入,以及对矿田构造、地球化学特征、成矿背景和成因类型等研究程度的不断加强,引来了不少研究者的关注(时友东等,2004;李洪茂等,2005,2006;汪宝金等,2007;刘贵忠等,2007;包亚范等,2008;黎敦朋等,2010;宋茂德等,2010;李国臣等,2012a,2012b)。白干湖钨锡矿田主要由4个矿床组成,其中柯可卡尔德矿床属于较典型的矽卡岩-云英岩-石英脉交代、充填复合型钨锡矿床,该矿区勘探程度最高,已探明储量最大,目前获得的总资源量(333+3341)为钨金属量约14万吨、锡金属资源量7.16万吨、伴生的铜金属资源量41.5万吨,钨和锡均达到大型矿的规模^①。最新的地质勘查工作表明,矿田西南部阿瓦尔钨锡矿床的地质特征和成矿条件与柯可卡尔德矿床非常类似,找矿前景十分可观。

作为矿床的重要组成部分,矿化交代岩在白干湖钨锡矿田中广泛发育,尤其是钨锡矿化赋存的主岩(矽卡岩、云英岩和石英脉岩),但至今尚无较系统的研究资料,在很大程度上制约着矿田内钨锡矿形成机制研究、区域成矿规律总结以及资源潜力的

评价工作。因此,本文以矿田内典型矿床的成矿地质特征为实例,通过野外实地剖析和室内岩矿样品的镜下观测及分析测试,对控矿的地层围岩、构造条件和岩浆岩、矿化与交代岩类型和矿物共生组合特征、时空分布规律、控矿因素和矿床成因进行了较系统的深入研究,为该区进一步扩大找矿前景提供借鉴。

1 区域地质背景

白干湖矿田大地构造位置处于东昆仑与阿尔金造山带交汇处,即东昆仑祁漫塔格褶皱带西段由北西向南西方向的弧形转折部位。区域内地质体较复杂,构造作用强烈,岩浆活动频繁,成矿作用明显,构成一个北界为阿尔金南缘断裂带、南界至昆中断裂带的北东走向的隆起断块区。

区内出露地层以古元古界金水口群陆源碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造的浅变质岩系为主,次为古生界志留系白干湖组笔石页岩相沉积建造浅变质岩系,两者以白干湖深大断裂为界,前者分布于该断裂北侧,后者出露于断裂南侧,构成本区近北东向褶皱基底。区域地球化学特征表明金水口群地层建造具高丰度的钨(平均值 20.5×10^{-6})、锡(平均值 3.3×10^{-6})等金属元素的特点,是区域上钨、锡等元素富集成矿的主要“矿源层”,同时,也是矿田内最为重要的钨锡矿床的赋矿层位(刘子峰等,2007)。

① 吉林省地质调查院,2010.新疆若羌县柯可·卡尔德钨锡矿床勘探报告(修改稿).内部资料.

区域构造比较复杂,褶皱、断裂均较发育,以白干湖断裂为基本构造骨架贯穿于全区。主要表现为一套北东走向、倾向南东和倾角一般在 $70\sim 80^\circ$ 的挤压片理化带,并呈舒缓波状展布的压扭性断裂,其可能属阿尔金断裂的次一级断裂。据刘子峰等(2007)的1:10万水系沉积物测量结果,沿该断裂带形成的一系列组合异常,具有元素组合复杂、面积大、元素套合好、强度高的地球化学特征,充分显示了该断裂带在钨、锡、金、铜等成矿上所起到的控制作用。北东向断裂也是巴什尔希花岗杂岩体的导岩与控岩构造。

岩浆活动以加里东期酸性-中酸性侵入岩为主,华力西和印支期次之,且伴有大量脉岩分布。白干湖矿田中最主要的花岗岩体为巴什尔希岩体,以一系列岩株状大小岩体呈北东向带状出露于区域北部,主要侵入于白干湖断裂北侧金水口群中。岩性以钾长花岗岩、似斑状二长花岗岩和中细粒二长花岗岩为主,总体具由西向东同源演化和多期的特

点。该期侵入岩原生晕钨、锡元素的背景平均值分别为 28×10^{-6} 和 2.9×10^{-6} ,表明本期岩浆活动为W、Sn成矿带来了十分丰富的矿物质^①。矿田内所有钨锡矿床几乎都产于金水口群地层与巴什尔希岩体南缘接触带和外接触带上,其中尤以晚期中细粒二长花岗岩的侵入最为重要,与区内钨锡等矿产成矿关系最为密切(图1)。

2 矿田地质概况

白干湖钨锡矿田位于区域黑山-祁漫塔格成矿带的北东部,北距阿尔金南缘断裂20 km,南距白干湖断裂2~3 km。

2.1 地层

矿田出露地层由古元古界金水口群小庙岩组和志留系白干湖组构成(图1)。前者为一套陆源碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造的浅变质岩系,分布于白干湖断裂北侧,岩性以绢云石英片岩为主,并与似层

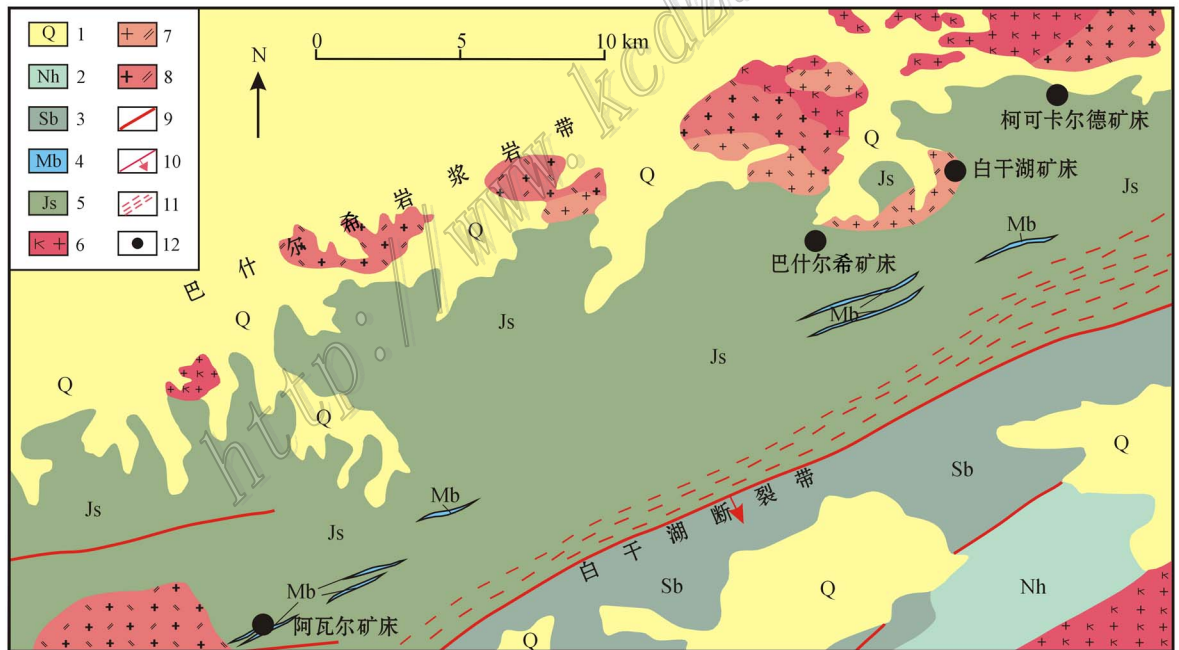


图1 白干湖钨锡矿田区域地质略图(据包亚范等,2008修改)

1—第四系冲积、坡积物; 2—第三系砂砾岩; 3—志留系白干湖组板岩和千枚岩; 4—金水口群小庙岩组硅质大理岩; 5—金水口群小庙岩组绢云石英片岩; 6—加里东期钾长花岗岩; 7—加里东期中细粒二长花岗岩; 8—加里东期似斑状二长花岗岩; 9—断裂; 10—白干湖断裂; 11—韧性剪切带; 12—钨锡矿床位置

Fig. 1 Regional geological map of the Baiganhu tungsten and tin orefield (modified after Bao et al., 2008)

1—Quaternary residual and slope wash materials; 2—Tertiary sandy conglomerate; 3—Silurian Baiganhu Group slate and phyllite; 4—Siliceous marble of Xiaomiaoyan Formation in Jinshui Kou Group; 5—Sericite-quartz schist of Xiaomiaoyan Formation in Jinshui Kou Group; 6—Caledonian moyite; 7—Caledonian medium-fine grained adamellite; 8—Caledonian porphyroid adamellite; 9—Fault; 10—Baiganhu fault; 11—Ductile shear zone; 12—Tungsten-tin deposit

① 吉林省地质调查院, 2010. 新疆若羌县柯可·卡尔德钨锡矿床勘探报告(修改稿). 内部资料.

状、透镜状或薄层条带条纹状硅质大理岩(透闪石大理岩)相互构成互层和夹层形式呈北东向展布,倾向总体南东为主,局部夹少量基性火山岩及其碎屑岩。受侵入岩浆期后高温-气化热液影响,近岩体围岩及附近裂隙处常发生矽卡岩化、云英岩化、电气石化和硅化等矿化蚀变作用。该组地层是矿田钨锡矿体的主要赋矿围岩和“矿源层”。

志留系白干湖组为一套笔石页岩相沉积建造浅变质岩系,分布于白干湖断裂南侧,岩性主要为粉砂质绢云母板岩、泥砂质绢云千枚岩等,多沿白干湖断裂南侧呈带状北东向展布,片理总体走向 60°,倾向南东,倾角 50~70°,发育挤压片理化带。与下伏地

层呈断层接触。

2.2 构造

矿田位于巴什尔希花岗岩浆岩带的东南缘接触带上(图 1、2),构造复杂,褶皱、断裂、裂隙和剪切带发育,均具多期、复合活动特点。贯穿区域内的白干湖断裂是构成矿田的主构造线,总体走向 60°,延伸约 230 余 km,可能属阿尔金南缘断裂带的次一级断裂,至东部与之斜交。

2.2.1 褶皱构造

区内褶皱构造发育,具多期变形叠加的特点。第一期褶皱发生于加里东早期,主要表现为顺层掩卧褶皱和流变褶皱样式,轴面倾向南东,倾角 15~50°,

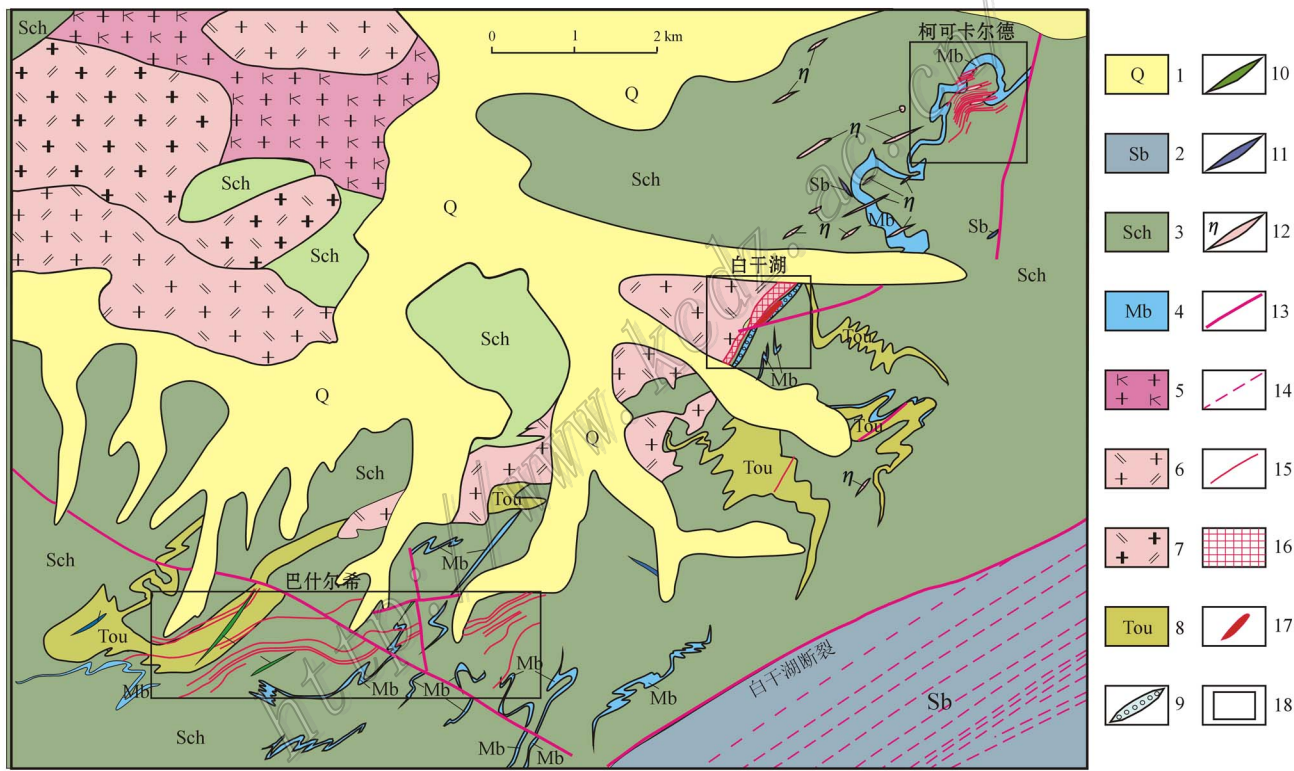


图 2 白干湖钨锡矿田东部地质略图(据吉林省地质调查院勘,2010^①修改)

- 1—第四系; 2—志留系白干湖组泥、砂岩; 3—金水口群小庙岩组绢云石英片岩; 4—金水口群小庙岩组硅质大理岩; 5—钾长花岗岩;
- 6—中细粒二长花岗岩; 7—似斑状二长花岗岩; 8—电气石化绢云石英片岩; 9—透闪石透辉石矽卡岩; 10—辉绿岩脉; 11—辉长岩脉;
- 12—二长花岗岩脉; 13—断裂; 14—白干湖断裂挤压片理化带; 15—锡石黑钨矿石英脉型矿(化)体; 16—云英岩型白钨矿(化)体;
- 17—砂卡岩型白钨矿(化)体; 18—矿区范围

Fig. 2 Sketch geological map of the eastern part of the Baiganhu tungsten-tin orefield (modified after Exploration Report of Geological Survey Institute of Jilin Province)

- 1—Quaternary; 2—Mudstone and sandstone of Silurian Baiganhu Group; 3—Sericite-quartz schist of Xiaomiaoyan Formation in Jinshuikou Group;
- 4—Siliceous marble of Xiaomiaoyan Formation in Jinshuikou Group; 5—Moyite; 6—Medium-fine grained adamellite; 7—Porphyroid adamellite;
- 8—Tourmalinized sericite-quartz schist; 9—Tremolite and diopside skarn; 10—Diabase vein; 11—Gabbro vein; 12—Adamellite vein; 13—Fault;
- 14—Foliated extrusion belt of Baiganhu fault; 15—Cassiterite-wolframite quartz vein type ore body; 16—Scheelite within greisen type ore body;
- 17—Skarn type scheelite ore body; 18—Mining area

① 吉林省地质调查院, 2010. 新疆若羌县柯可·卡尔德钨锡矿床勘探报告(修改稿). 内部资料.

但其形迹受后期改造已残存不全。第二期褶皱发生于加里东晚期,主要表现为同斜紧闭褶皱,轴向呈北东向平行于白干湖断裂展布,轴面倾向南东,倾角 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$;第三期褶皱是在前期褶皱变形基础上产生的,褶皱样式以宽缓褶皱形式出现,轴向呈北西向展布,并沿其轴面产生 NW 向断裂构造。

矿田由一组向、背形褶皱构造构成。背斜构造发育于白干湖矿区一带,由于褶皱隆起,上部大理岩地层普遍遭到剥蚀,仅局部残留;向斜构造主要发育于柯可卡尔德和巴什尔希矿区,由于向斜构造的形态特征,使该处地层得以保存完好。

2.2.2 断裂构造

北东向断裂:延续规模不等,片理化带发育,多与白干湖断裂平行或呈锐角相交产出,倾向为南东,倾角 $55^{\circ} \sim 70^{\circ}$,是矿田主干断裂和重要的导矿、控矿和容矿构造,力学性质主要表现为压扭性。

北北东向断裂:是与北东向断裂同时派生的断裂构造,出露在矿田东北部柯可卡尔德矿区,北端延至图外(图 2),南端与白干湖断裂斜交,走向 35° ,倾向南东,倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$,山地 V 型窄沟直线状延伸,表现为压扭性断层。

北西向断裂:分布于巴什尔希矿区和白干湖矿区附近的北西向水系冲沟,常切割错动北东向矿脉,表现以张扭性为主的力学性质。

北北西向断裂:形成早于北东向断裂构造,被后期近东西向断裂错断,表现为张性断裂性质。

2.2.3 成矿裂隙

北东向裂隙:延伸和规模都不大,一般延长 $200 \sim 500$ m,宽 10 cm ~ 2 m 不等,倾向南东,倾角 $25^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。该组裂隙是柯可卡尔德矿区隐伏花岗岩突起顶部主要工业矿脉的容矿裂隙,多为钨锡矿化的云英岩化二长花岗岩伸枝脉岩和石英脉岩所充填。

近东西向裂隙:地表延伸较稳定,一般延长 $1000 \sim 2000$ m,宽 $2 \sim 10$ cm,但矿化程度和规模相对较小,其倾向近北,倾角 $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。该组裂隙主要为巴什尔希矿区钨锡石英细脉的容矿裂隙,并存在明显的交切现象。

2.3 岩浆岩

巴什尔希花岗岩体呈岩基、岩株状或伸枝岩脉状出露于托格热萨依-柯可卡尔德一带,侵入于金水口群小庙岩组中,出露面积约 200 km 2 。岩性主要由钾长花岗岩和二长花岗岩等组成,呈现出多期次的侵入特征。包亚范等(2008)对柯可卡尔德矿床外围

钾长花岗岩的锆石进行 U-Pb 年龄测试,为 (432.3 ± 0.8) Ma,高晓峰等(2010)测得二长花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 等时线年龄为 (458.0 ± 9.0) Ma,两者属加里东期晚奥陶世—早志留世的产物。本次项目组利用 SIMS 锆石 U-Pb 法对二长花岗岩和钾长花岗岩测年,分别为 (421 ± 4) Ma 和 (422 ± 4) Ma(李国臣等,2012b),而矿区内强云英岩化花岗岩微细网脉浸染型钨锡矿化的二长花岗岩脉和锡石黑钨矿石英脉壁云母线的白云母 ^{39}Ar - ^{40}Ar 坪年龄结果为 (411.7 ± 2.6) Ma 和 (412.8 ± 2.4) Ma,说明成岩成矿年龄比较接近,应代表了该地区加里东期晚志留世大规模岩浆-成矿作用事件。

研究表明,区内与钨锡成矿有时空和成因密切联系的岩浆侵入体是二长花岗岩类。本类岩石发育有似斑状结构和中细粒结构两种岩石,以似斑状二长花岗岩出露面积最大,中细粒二长花岗岩次之。前者主要出露于岩体中部或深部,具中浅成中酸性侵入体的特征,后者则分布在岩体边部或呈小岩突隐伏于浅部。经多个深部钻孔岩芯观测,两者在空间上有时呈渐变过渡关系。岩石除结构相上的变化外,两者矿物成分和岩石化学特征几乎近似。主要组成矿物:黑云母($5\% \sim 15\%$)、钾长石($25\% \sim 30\%$)、斜长石($20\% \sim 25\%$)和石英($25\% \sim 30\%$),副矿物以磷灰石、锆石和榍石为主,少量磁铁矿。对二长花岗岩类侵入体主要造岩矿物的电子探针分析结果(表 1)表明:黑云母的测试数据投入到其成分分类图上多位于铁黑云母区,与国内 W、Sn 矿化岩浆岩中黑云母成分特征具相似性(赵一鸣等,2012);钾长石具格子双晶或条纹结构,其成分为 $\text{Or}_{92.77\sim 97.62}\text{Ab}_{2.38\sim 6.98}\text{An}_{0\sim 0.36}$;斜长石多呈长板状聚片双晶,测定成分为更长石($\text{An} = 15 \sim 19$)。矿田内隐伏的二长花岗岩体云英岩化(包括电气石化和钠长石化)普遍发育,大部分岩石已蚀变为云英岩化花岗岩,而靠近顶部或接触带云英岩化强烈的岩石均被交代为云英岩,同时显示出钨锡矿化趋富集,并构成云英岩化花岗岩微细网脉浸染型钨锡矿体。因此,本区特有的钨锡矿床与二长花岗岩侵入体具相关的成矿专属性。

包亚范等(2008)研究认为,巴什尔希杂岩体从早期的二长花岗岩到晚期的钾长花岗岩,岩石酸性程度逐渐增强,岩浆分异程度高、结晶程度好,同时表现为大离子亲石元素 K、Rb、Ba 富集, Ba 显负异常,高场强元素 Th、Ta、Nb 富集或中等富集,

表1 二长花岗岩类侵入体主要造岩矿物电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analyses of main petrogenetic minerals from the intrusion of ademallite

序号	样号	矿物名称	wt(B)%										
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总和
1	BGZK0802-13-5	黑云母	37.31	2.88	18.61	19.09	0.48	6.64	0.00	0.09	9.61	0.00	94.71
2	BGZK0802-13-9	黑云母	37.67	2.79	18.39	18.99	0.43	7.27	0.00	0.04	9.94	0.00	95.52
3	BGZK1480-6-1	钾长石	63.71	0.01	17.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	17.86	0.00	99.31
4	BG58-2	钾长石	64.46	0.02	17.65	0.06	0.00	0.00	0.08	0.82	17.10	0.01	100.20
5	KK206-1	钾长石	64.57	0.02	17.63	0.00	0.00	0.00	0.02	0.58	17.47	0.00	100.29
6	KK215-2	钾长石	64.58	0.00	17.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.29	18.05	0.00	100.46
7	BGZK0802-13-6	钾长石	65.41	0.00	17.83	0.04	0.04	0.00	0.05	0.78	15.76	0.04	99.95
8	BGZK0802-13-4	更长石(19)	63.70	0.00	22.29	0.04	0.00	0.00	3.96	9.43	0.24	0.00	99.66
9	BGZK0802-13-1	更长石(18)	64.29	0.00	21.85	0.00	0.00	0.00	3.74	9.19	0.14	0.00	99.16
10	BGZK0802-13-3	更长石(15)	64.42	0.02	21.34	0.03	0.00	0.00	3.12	9.61	0.17	0.00	98.71

注:序号1、2、7、8、9、10样品由核工业北京地质研究院分析测试中心分析,仪器型号:日本产JXA-8100,分析者:葛祥坤;序号3、4、5、6样品由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室分析,仪器型号:日本产JXA-8230,分析者:陈小丹。

Ta 显弱的负异常, Yb、Zr 亏损或极度亏损; 稀土元素模式曲线为轻稀土元素富集型, 且有较强铈的负异常, 杂岩体具“S”型花岗岩的通常特征, 但局部也显示“I”型花岗岩, 因此, 认为与钨锡矿产关系密切的华南花岗岩以改造型为主的造山花岗岩不同, 巴什尔希花岗岩虽属造山花岗岩, 但具板内和陆缘造山带特征, 成岩物质应来源于“S”型和“I”型花岗岩之间, 即岩浆是壳源的, 在其上升过程中局部加入了少量深源物质。

3 矿床地质特征

白干湖钨锡矿田产于巴什尔希花岗杂岩体东南缘至西南缘接触带上, 目前已发现矿床4处, 即柯可卡尔德、白干湖、巴什尔希和阿瓦尔钨锡矿床, 分布于长约35 km、宽2~3 km的NE向同一条矿化带上(图1)。前3个矿床主要集中在矿田东部长13 km、宽2 km的区段内, 各自相隔约5 km, 呈等间距分布(图2)。

矿田钨锡矿化主要特征是云英岩化花岗岩微细网脉浸染型(简称:云英岩型, 下同) 矽卡岩型和石英脉型矿体发育于隐伏花岗岩小岩突顶部内接触带和外接触带及其裂隙系统, 石英脉型矿体在空间上即充填交代于矽卡岩型矿体中, 也少量充填交代于云英岩型矿体内, 而云英岩型矿体又局部叠加于矽卡岩型矿体之上。这表明矽卡岩化及其相应的矿化类型早于云英岩型矿化, 矿化石英脉又晚于云英岩型矿化。四个矿床产出的矿化形态虽有所不同, 但

都具矽卡岩型、云英岩型或石英脉型两个以上类型矿体共存特征, 为便于描述和对比, 现将这些矿床主要地质特征以表格形式简述于表2中。

3.1 矽卡岩型矿体

矽卡岩型矿体明显受二长花岗岩侵入体与大理岩接触带控制, 呈似层状、透镜状面型分布于外接触带的矽卡岩内(图3、4), 产状与大理岩地层基本一致, 产出标高在4150~4280 m。柯可卡尔德矿床的矽卡岩型矿体延续性较好, 走向为50~60°, 倾向SE, 倾角缓陡不一(20~60°之间); 矿体厚度一般数米至十多米, 最厚42 m, 延长50~250 m。白干湖矿床的矽卡岩型矿体控制长度120~660 m, 最长可达1300 m, 走向为40~87°, 倾向SE, 倾角70~80°, 矿体厚度5~60 m。巴什尔希矿床仅局部见有少量断续分布的透镜状矽卡岩型矿体, 规模较小。

含矿岩性主要为透闪石透辉石矽卡岩和阳起石透辉石矽卡岩, 局部矽卡岩化大理岩内也可见到少量白钨矿化。矿石的金属矿物主要为白钨矿, 是白干湖矿田分布最广的工业矿物, 一般呈他形粗粒状或板状(图5a) 浸染于矽卡岩中, 有时也呈细粒浸染状分布(图5b) 粒径0.2~5 mm, 大者可达15 mm, 其含量多为2%~4%, 局部见少量黄铜矿、黄铁矿和锡石。脉石矿物以石英、透辉石、阳起石、透闪石和碳酸盐矿物为主, 次为黝帘石、斜黝帘石、萤石等。根据矿物共生组合特征, 可把矽卡岩成矿作用单独划分出4个矿化阶段: ① 矽卡岩阶段, 主要形成透辉石和少量金云母; ② 退化蚀变阶段, 形成阳起石、透闪石、黝帘石、斜黝帘石、碳酸盐矿物、白钨矿和石

表 2 白干湖钨锡矿田各矿床主要地质特征一览表

Table 2 Main geological characteristics of various deposits in the Baiganhu orefield

	柯可卡尔德矿床	白干湖矿床	巴什尔希矿床	阿瓦尔矿床
侵入岩	浅部隐伏二长花岗岩小岩株, 地表出露伸枝岩脉 N 条	深部似斑状二长花岗岩, 地表出露中细粒二长花岗岩体	矿区地表和深部均未见侵入岩体, 距 NE 约 1.5 km 处出露有二长花岗岩体	出露二长花岗岩伸枝岩脉 N 条, 深部 200 m 处有隐伏二长花岗岩岩株
赋矿岩性	内带强云英岩化二长花岗岩小突起及其伸枝岩脉, 外接触带砂岩和石英脉岩	外接触带砂岩为主和少量充填石英脉, 以及内接触带云英岩化二长花岗岩	以远外接触带的石英细(网)脉为主体, 局部为透镜状砂岩	内带强云英岩化二长花岗岩小岩突及其伸枝岩脉, 外接触带砂岩和石英脉岩
控矿构造	隐伏花岗岩体突起顶部构造、接触带和大理岩构造和 NE 向围岩层间断裂或裂隙系统	接触带和外接触带构造, 以及外接触带 NE 向围岩层间构造或裂隙	远外接触带围岩内近 EW 向断裂裂隙和大理岩小透镜体	隐伏花岗岩体突起顶部构造和外接触带围岩北东东向层间断裂或裂隙系统
矿体形态、产状、规模	已探明矿体 23 条, 分布在标高 3885~4394 m 范围内, 其中 6 条赋存于隐伏花岗岩突起内呈板状或似层状, 其余 17 条产于外接触带大理岩中, 呈似层-透镜状砂岩型矿体, 15 条呈线型展布的石英脉型矿体。石英脉型和花岗岩伸枝岩脉型矿体呈斜列式有层序平行紧密排列, 一般厚度 0.5~2 m 及延伸 50~250 m, 走向 25~60°, 倾向 SE, 倾角 12~50°, 形态变化较大; 矿床控制的总金属资源量(333+3341)吨 14 万吨, 锡 7.16 万吨	已探明矿体 6 条, 分布在标高 4000~4250 m 范围之间, 以外接触带似层状或透镜状砂岩矿体为主, 一般长 120~660 m, 最大延伸可达 1300 m 以上, 厚度 2.2~42 m, 产状与外接触带大理岩基本一致, 总体走向 50~60°, 倾向 SE, 倾角 70~80°, 云英岩型矿体规模较小, 产状与接触带界面一致, 少量石英脉型矿体的产状变化较大, 走向 34~80°, 延深数十米快速尖灭; 矿床估算的金属资源量(334)吨 11.43 万吨	发现矿体 30 余条, 分布在标高 4000~4400 m, 大多呈石英细(网)脉状产出, 具分枝复合及尖灭再现。地表石英脉仅数厘米至数十厘米宽, 控制延长 800~3600 m, 走向 60~90°, 倾向 SE, 倾角 35~85°。局部见小透镜状砂岩型矿体; 2006 年前估算的金属资源量(334)吨 1.4 万吨, 锡 4.02 万吨	矿带长 6000 m, 地表发现大小矿体 29 条(钨矿脉 15 条、锡矿脉 4 条、钨锡矿脉 10 条), 石英脉型 26 条, 云英岩化花岗岩伸枝岩脉 3 条, 总体走向 80°, 倾向 NW, 倾角 40~80°, 厚度 0.5~2.6 m。东矿段 11 条矿体控制长 700 m, 西矿段 18 条矿体控制长 1300 m, 两者间尚无工程控制; 目前工作程度低, 推测矿床规模可能大于柯可卡尔德矿床
矿石特征				
矿石品位	$w(\text{WO}_3)$ 0.10~0.48%, 平均 0.28%; $w(\text{Sn})$ 0.10~0.56%, 平均 0.30%	$w(\text{WO}_3)$ 0.14%~0.51%; 平均 0.39%	$w(\text{WO}_3)$ 平均 0.12%~0.57%; $w(\text{Sn})$ 平均 0.10%~0.24%	$w(\text{WO}_3)$ 平均 0.10%~1.77%; $w(\text{Sn})$ 平均 0.18%~1.29%
物质组成	砂卡岩型: 矿石矿物 Sk(Cp, Py, Cas); 脉石矿物 Di, Tl, Act, Qz(Cal); 云英岩型: 矿石矿物 Sk(Wf, Py); 脉石矿物 Qz, Mu, Kp, Ab, F(Tou); 石英脉型: 矿石矿物 Wf(Sh), Cas, Cp, Py; 脉石矿物 Qz, Mu, Fl	砂卡岩型: 矿石矿物 Sk(Cp, Py, Cas); 脉石矿物 Di, Tl, Act(Ca, Zo), Cal, Qz; 云英岩型: 矿石矿物 Sk(Wf, Py); 脉石矿物 Qz, Mu, Kp, Ab, F(Tou); 石英脉型: 矿石矿物 Wf(Sh, Cas, Cp, Py, Mo); 脉石矿物 Qz, Mu(Tou)	砂卡岩型: 矿石矿物 Sk(Py, Cp); 脉石矿物 Tl, Act, Cal, Qz; 石英脉型: 矿石矿物 Wf(Sh), Cas, Cp, Py; 脉石矿物 Qz, Mu(Tou)	基本与柯可卡尔德矿床床类似
结构构造	自形-半自形-他形粒状结构和交代、残留结构; 变余花岗岩结构或鳞片花岗岩变晶结构、交代溶蚀和残余结构; 压碎和角砾结构。浸染状、细网脉浸染状构造发育, 见有块状、脉状充填和稀状、晶洞状、角砾状构造	他形细粒变晶结构、交代和残留结构; 以浸染状、块状和细条纹状带条带状构造为主, 次为细网脉状和角砾状构造	以他形粒状和镶嵌结构以及浸染状、细网脉状、角砾状构造为主	基本与柯可卡尔德矿床床类似
矿石类型	砂卡岩型: Qz+D+Tl+Sh+Plh+Act+Wf 型; 云英岩型: Qz+Mu+Fl+Sh+Wf+Tou+Kp(Ab); 石英脉型: Qz+Wf+Cp+Py 型和 Qz+Cas+Wf 型	砂卡岩型: Qz+D+Tl+Sh+Act+Ca(Zo)+Wf 型; 云英岩型: Qz+Mu+Fl+Sh+Wf+Tou+Kp(Ab); 石英脉型: Qz+Wf+Cp+Py+Mo 型	砂卡岩型: Qz+Mu+Tou+Fl+Wf+Sh; 石英脉型: Qz+Wf+Cas+Py+Cp	基本与柯可卡尔德矿床床类似
矿化阶段	①砂卡岩化阶段; ②云英岩化阶段; ③石英氧化物阶段; ④石英-硫化物阶段; ⑤碳酸盐化阶段	①砂卡岩化阶段; ②云英岩化阶段; ③石英氧化物阶段; ④石英-硫化物阶段; ⑤碳酸盐化阶段	①砂卡岩化阶段; ②石英氧化物阶段; ③石英-硫化物阶段; ④碳酸盐化阶段	基本与柯可卡尔德矿床床类似
围岩蚀变	砂卡岩化、云英岩化(包括钠长石化、电气石化和萤石化)和硅化, 局部碳酸盐化	砂卡岩化为主, 次云英岩化(钠长石化、电气石化和萤石化)和硅化, 局部碳酸盐化	硅化和碳酸盐化为主, 局部砂卡岩化	基本与柯可卡尔德矿床床类似
矿床类型	砂卡岩-云英岩化花岗岩微细网脉浸染-石英脉交代、充填叠加复合型钨锡矿床	以砂卡岩为主, 局部云英岩化花岗岩微细网脉浸染和石英脉交代、充填叠加复合型钨锡矿床	石英细脉带型钨锡矿床	基本与柯可卡尔德矿床床类似

注: Act—阳起石; Ab—钠长石; An—毒砂; Cal—方解石; Cas—锡石; D—透辉石; Fl—萤石; Kp—钾长石; Mo—白钨矿; Mu—白云母; Qz—石英; Plh—金云母; Py—黄铁矿; Pyr—磁黄铁矿; Sh—白钨矿; Tl—透闪石; Tou—电气石; Wf—黑钨矿; Zo—黝帘石

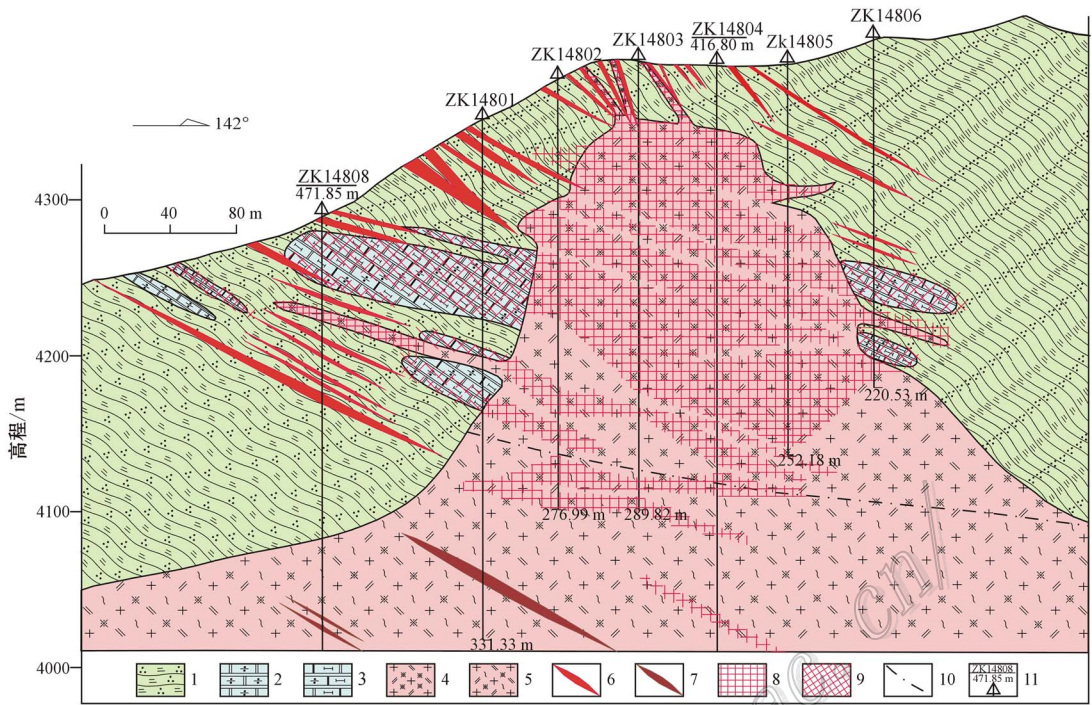


图3 柯可卡尔德矿区148勘探线地质剖面图(据吉林省地质调查院,2010^①修改)

1—绢云石英片岩; 2—硅质透闪石大理岩; 3—透闪石透辉石砂卡岩; 4—强云英岩化似斑状细粒二长花岗岩(或云英岩); 5—弱云英岩化绿泥石化中细粒二长花岗岩; 6—上部外接触带石英脉型锡钨矿(化)体; 7—深部内接触带脉状钨锡矿(化)体; 8—隐伏岩突顶部云英岩型钨锡矿(化)体; 9—外接触带砂卡岩型白钨矿(化)体; 10—岩体蚀变带推测界线; 11—钻孔编号及孔深

Fig. 3 Geological section along No. 148 exploration line in the Kekekaerde deposit (modified after Exploration Report of Geological Survey Institute of Jilin Province)

1—Sericite-quartz schist; 2—Siliceous tremolite marble; 3—Tremolite and diopside skarn; 4—Strongly greisenized porphyroid fine-grained adamellite (or greisen); 5—Weakly greisenized and chloritized medium-fine grained adamellite; 6—Cassiterite-wolframite quartz vein type ore body around the upper part of the outer contact zone; 7—Tungsten-tin ore body around the deep inner contact zone; 8—Greisenization type tungsten-tin ore body around the top of concealed granites; 9—Skarn type scheelite ore body around the outer contact zone; 10—Inferred boundary of alteration zoning of rock mass; 11—Serial number and depth of drill hole

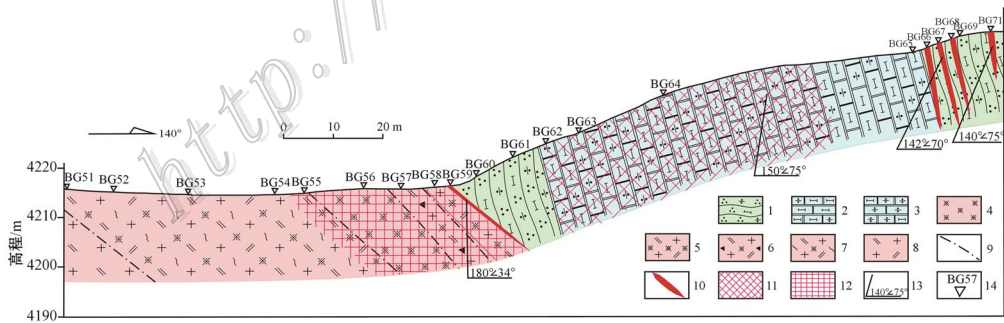


图4 白干湖矿区8勘探线实测地质剖面图

1—一条条带状透辉石透闪石砂卡岩化钙质石英片岩; 2—一条条带状透闪石透辉石砂卡岩; 3—一条条带状透辉石透闪石砂卡岩; 4—富石英云英岩; 5—云英岩化细粒二长花岗岩; 6—电气石云英岩化细粒二长花岗岩; 7—褪色蚀变中细粒二长花岗岩; 8—中细粒二长花岗岩; 9—岩体蚀变类型实(推)测界线; 10—石英脉型含锡钨钨矿(化)体; 11—云英岩型白钨矿(化)体; 12—砂卡岩型白钨矿(化)体; 13—地层和岩体界面产状; 14—采样位置及编号

Fig. 4 Measured geological section along No.8 exploration line in the Baiganhu deposit

1—Striated-stripe tremolite-diopside skarn calcium siliceous schist; 2—Striated-stripe tremolite-diopside skarn; 3—Striated-stripe diopside-tremolite skarn; 4—Greisen with rich quartz; 5—Greisenized fine-grained adamellite; 6—Tourmalinized and greisenized fine grained adamellite; 7—Bleached alteration medium-fine grained adamellite; 8—Medium-fine grained adamellite; 9—Measured boundaries of alteration zoning; 10—Cassiterite-wolframite quartz vein type ore body; 11—Greisenization type scheelite ore body; 12—Skarn type scheelite ore body; 13—Attitude of strata and rock mass; 14—Sampling position and its serial number

① 吉林省地质调查院. 2010. 新疆若羌县柯可·卡尔德钨锡矿床勘探报告(修改稿). 内部资源.

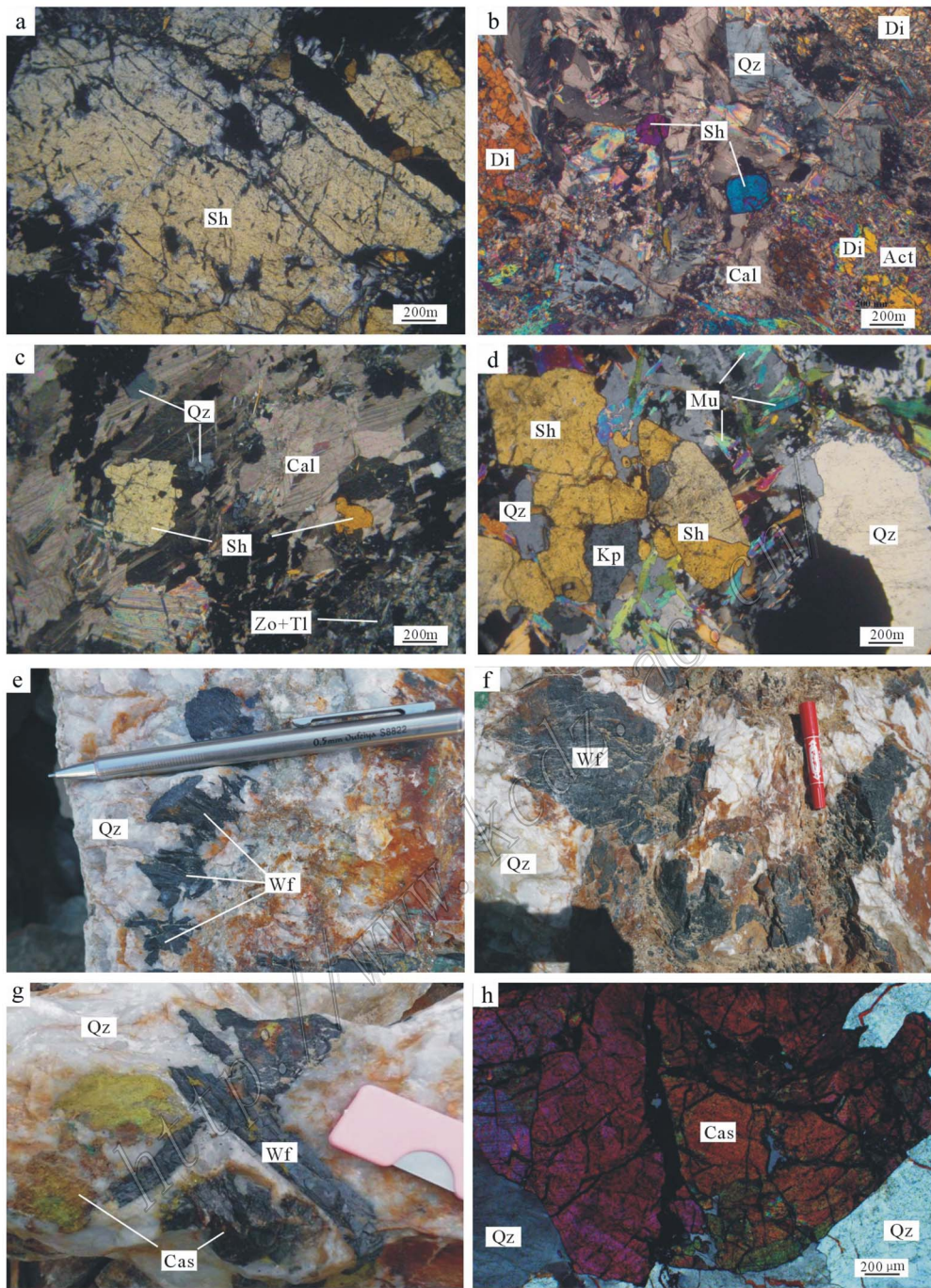


图 5 矽卡岩型、云英岩型和石英脉型矿石显微照片(正交偏光)和手标本照片

a. 透闪石透辉石矽卡岩型矿石中的粗晶白钨矿(Sh); b. 阳起石(Act)透辉石(Di)矽卡岩型矿石中的浸染状细粒白钨矿(Sh); c. 黝帘石(Zo)透闪石(Tl)透辉石(Di)矽卡岩内晚期碳酸盐细脉中的浸染状细粒白钨矿(Sh); d. 云英岩型矿石中的团块状中细粒白钨矿(Sh)集合体; e. 石英(Qz)脉型矿石内垂直脉壁梳状生长的黑钨矿(Wf)集合体; f. 石英(Qz)脉型矿石内黑钨矿(Wf)呈团块状集合体; g. 石英(Qz)脉型矿石内粗晶黑钨矿(Wf)和锡石(Cas); h. 石英(Qz)脉型矿石中单晶锡石(Cas)的环带构造

Fig. 5 Microscopic photos(crossed nicols) of scheelite in skarn type and greisenization type minerals and hand specimen photos of quartz vein type minerals

a. Megacrystalline scheelite (Sh) in tremolite-diopside skarn type minerals; b. Disseminated fine-grained scheelite (Sh) in actinolite (Act) diopside (Di) skarn type minerals; c. Disseminated fine-grained scheelite in carbonate veins (Zo) tremolite (Tl) diopside (Di) skarn; d. Aggregation of lumpish fine grained scheelite (Sh) in greisenization type minerals; e. Aggregated wolframite in (Wf) quartz (Qz) vein type minerals growing vertically along with the vein wall; f. Lumpish aggregated wolframite (Wf) in quartz (Qz) vein type minerals; g. Megacrystalline wolframite (Wf) and cassiterite (Cas) in quartz (Qz) vein type minerals; h. Zonal structure of single crystal cassiterite (Cas) in quartz (Qz) vein type minerals

英③石英-硫化物阶段,形成石英、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和白钨矿,此阶段矿化以细脉状和浸染状为特征,叠加于①和②之上;④碳酸盐-萤石阶段,以细(网)脉浸染状碳酸盐矿物和萤石组合为特征叠加于石英-硫化物(网)脉之上(图5c)。

以白干湖矿床为例,矽卡岩型白钨矿矿石的 $w(\text{WO}_3)$ 一般为0.14%~0.51%,平均0.39%。

矿田内矽卡岩型白钨矿的成矿作用属岩浆期后早期高中温热液交代阶段产物。矿化矽卡岩即为矿体是矽卡岩型白钨矿床一个最突出的重要标志(赵一鸣等,2012)。

3.2 云英岩型矿体

云英岩矿体主要赋存于花岗岩体顶部接触带内,尤其是隐伏花岗岩体突起部位及其顶部外接触带的伸枝脉岩最为发育。含矿岩性均为云英岩化细粒二长花岗岩及其被彻底交代的云英岩(图5d),后者绝大部分多是钨锡矿体,即云英岩化越强烈的部位钨锡矿化越富集。矿石具变余花岗结构、鳞片花岗变晶结构和细(网)脉浸染状构造。组成矿石的矿物有石英、白云母、钾长石、钠长石(斜长石)、电气石、萤石、白钨矿、黑钨矿、锡石、闪锌矿和黄铁矿等。如柯可卡尔德矿床(图3),6条隐伏的云英岩型矿体呈面型板状、似板状或似层状沿隐伏岩体突起部位产出,标高在4100~4400 m,矿体延续性好,单个矿体一般长150~250 m,最长的超过500 m,厚度1.25~43.07 m,走向30~60°,倾向SE,倾角10~48°,延深约300 m。矿体与蚀变花岗岩无明显界线,仅靠样品化验分析才能圈定。矿体品位的高低与云英岩化强弱程度关系极为密切,岩体顶部云英岩化强烈部位 WO_3 、Sn品位高,往深部随云英岩化程度逐渐减弱,其品位也逐渐降低直至尖灭,一般钨矿体以 $w(\text{WO}_3) \geq 0.08\%$ 为矿体边界。云英岩型钨锡矿化属岩浆期后高温-气化热液交代阶段的产物。

矿石的脉石矿物有石英、白云母、萤石和电气石等,矿石矿物主要为黑钨矿、锡石及少量白钨矿、黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿。黑钨矿以细-中粗粒自形、半自形板柱状为主,大多呈梳状自形晶集合体在石英脉内或脉壁垂直生长(图5e),局部呈团块状巨晶集合体(图5f),在柯可卡尔德石英脉内黑钨矿单晶最大可达10 cm。锡石以中细粒自形、半自形四方双锥为主,他形粒状次之,大者达5 cm(图5g),常见双锥状和聚片双晶、环带构造(图5h)。硫化物主要以

细粒浸染状分布于石英脉体内。

锡石黑钨矿石英脉型矿石的品位 $w(\text{WO}_3)$ 为0.10%~1.77%,平均0.39%; $w(\text{Sn})$ 0.10%~0.56%,平均0.30%。

3.3 石英脉型矿体

锡石黑钨矿石英脉型矿体产出于隐伏花岗岩顶部外接触带绢云石英片岩中,常叠加于矽卡岩型和云英岩型矿体之上,这说明石英脉型矿体晚于矽卡岩化和云英岩化及其相应矿化。石英矿脉形态变化受成矿构造裂隙或层间构造的控制,具分支复合、尖灭再现、波状弯曲、膨大缩小等现象。柯可卡尔德矿床石英脉型矿体由15条锡石黑钨矿石英脉单体组合而成,发育于隐伏花岗岩顶部及其西北侧(图3),总体长1000 m,走向30~50°,呈相互平行和交叉雁行排列展布,主脉间距一般20~50 m,倾向SE,倾角12~60°,一般脉长500~800 m,厚0.5~2 m,延深40~150 m,最大200 m;巴什尔希矿床已发现含矿石英脉30余条,主要呈细(网)脉状分布于远外接触带绢云石英片岩中,局部横切大理岩透镜体(图6),总体走向60~90°,倾向北或南,倾角较陡或近于直立,脉长200~3600 m,厚0.2~1 m;阿瓦尔矿床地表发现含矿石英脉26条,总体走向80°,倾向北西,呈雁列式分布于隐伏花岗岩顶部外接触带。

锡石黑钨矿石英脉型矿化依据矿物共生组合和穿插关系可细划分为3个矿化阶段:①氧化物阶段,主要矿物有石英、黑钨矿、锡石、白云母和少量白钨矿及电气石;②硫化物阶段,形成石英、黄铁矿、黄铜矿、电气石、白钨矿,伴有辉钼矿化;③碳酸盐-萤石阶段,主要形成碳酸盐矿物和少量萤石。李国臣等(2012a)测定了柯可卡尔德矿床含矿石英脉石英气液包裹体均一温度,揭示了石英脉成矿阶段的温度范围为125~351℃,其中早阶段的黑钨矿锡石主成矿期温度多集中于239~351℃,晚阶段的硫化物生成温度为143~205℃。因此,黑钨矿锡石石英脉属岩浆期后晚期中低温热液脉型充填交代的产物。

上述矽卡岩型白钨矿化、云英岩型钨锡矿化和黑钨矿锡石石英脉型矿化在时空上构成一个与加里东期二长花岗岩有成因联系的矿田成矿系列。

4 矿化交代岩分类

由于矿田与成矿有关的二长花岗岩类的侵入

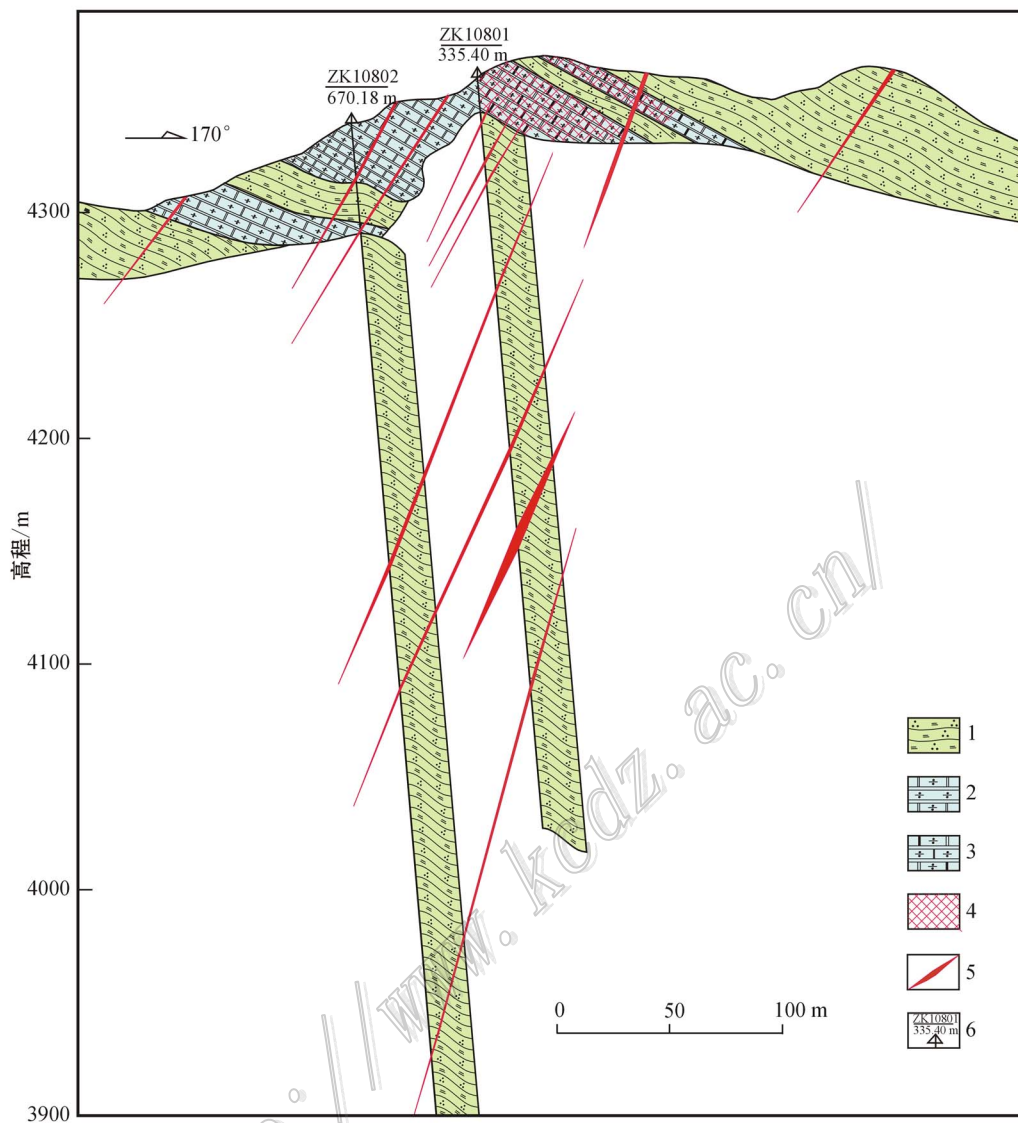


图 6 巴什尔希矿床 108 勘探线剖面图(据吉林省地质调查院, 2010^①修改)

1—绢云石英片岩; 2—硅质透闪石大理岩; 3—透闪石透辉石矽卡岩; 4—矽卡岩型白钨矿矿(化)体; 5—远外接触带细(网)脉状石英脉型锡石黑钨矿(化)体; 6—钻孔编号及孔深

Fig. 6 Geological section along No. 108 exploration line in the Bashierxi deposit (modified after Exploration Report of Geological Survey Institute of Jilin Province)

1—Sericite-quartz schist; 2—Siliceous tremolite marble; 3—Diopside-tremolite skarn; 4—Skarn type scheelite ore body; 5—Quartz vein type cassiterite-wolframite ore body distal from the outer contact zone; 6—Serial number and depth of drill hole

是在一种封闭和中浅成环境下进行的, 在岩浆演化过程中不断地分异出富含多种矿质的气化热液, 沿构造断裂上升聚集, 在不同的围岩、构造、物化条件下发生了各种交代作用, 其中主要有矽卡岩化和云英岩化(包括钠长石化和电气石化)交代作用及硅化充填交代作用, 生成了各种不同的交代岩, 它们均与钨锡矿化有着直接的联系。

4.1 矽卡岩及有关交代矿物

除巴什尔希矿床外, 其他 3 个矿床中矽卡岩相对比较发育, 规模较大的矽卡岩多局限于金水口群小庙岩组大理岩与二长花岗岩接触带或外接触带的构造有利部位, 所见矽卡岩主要发育于环绕隐伏二长花岗岩岩突四周外接触带裂隙密集的大理岩地段(图 3), 范围较广, 大体呈北东或南西方向展布, 远离

① 吉林省地质调查院. 2010. 新疆若羌县柯可·卡尔德钨锡矿床勘探报告(修改稿). 内部资源.

接触带逐渐尖灭。矿田内规模最大的矽卡岩体呈似层状产于白干湖矿床条纹条带状硅质大理岩中,因其受侵蚀而大面积出露于地表(图2、4)。矽卡岩的分布既有规模较大的面型矽卡岩又有数量众多的细(网)脉状矽卡岩,前者主要受接触带构造控制,延伸数十米至千米之间,厚数米至数十米以上;后者基本上受控于接触带外侧裂隙构造,宽数厘米至数十厘米,长数米至数十米或数百米。

矿田内的矽卡岩为钙矽卡岩,组成矿物较简单,一般以辉石单矿物为主而形成辉石矽卡岩。矽卡岩及其代表性交代矿物的电子探针分析结果见表3,从中可以看出,矽卡岩中的辉石属透辉石-钙铁辉石系列,主要为透辉石($Di_{73.6-85.8}$),钙铁辉石分子含量($Hed_{14.2-24.2}$)和锰钙辉石分子含量($Joh_{0.0-2.2}$)都不高。透辉石属于岩浆期后早期高温钙矽卡岩矿物,但又常被后期退化蚀变矿物透闪石、阳起石、氟金云母和白钨矿所交代或穿插。

透闪石和阳起石广泛发育于矿田内的透辉石矽卡岩中,常呈放射状集合体或网脉状不同程度地交代透辉石矽卡岩,形成透闪石透辉石矽卡岩和阳起石透辉石矽卡岩(图7a、b、c)。电子探针分析结果表明,透闪石的特点是含铁较低($w(FeO)4.89\% \sim 7.47\%$),

阳起石则含铁相对较高($w(FeO)8.35\% \sim 13.48\%$),两者均含多量的氟($w(F)0.74\% \sim 2.05\%$)。

氟金云母也是接触交代成因的矿物之一,主要产于柯可卡尔德矿区的内带矽卡岩中,呈粗晶细脉状集合体交代透辉石透闪石矽卡岩,共生矿物主要有石英、萤石和白钨矿等。在单偏光下,氟金云母与白云母的区别在于其浅绿色、微弱的多色性和极小的消光角。电子探针分析结果表明, $w(FeO)8.72\%$, $w(MgO)20.30\%$, $w(F)5.66\%$ 。

黝帘石和斜黝帘石为晚期热液蚀变产物,主要见于白干湖矿区外接触带矽卡岩中,它们常呈细条纹状或网脉状集合体交代、穿切透闪石透辉石矽卡岩(图7d),属较晚期形成的交代矿物。单偏光下,两者均无色、细等粒状、二轴晶正光性、正高突起、且有异常蓝干涉色,但黝帘石为平行消光,斜黝帘石则为斜消光,消光角极小。黝帘石和斜黝帘石电子探针分析结果列于表3。

4.2 云英岩及有关交代矿物

云英岩是一种浅色交代岩,一般形成于矽卡岩晚期,属于早期高温-气化热液酸性淋滤作用阶段的交代产物,通常与酸度较大的花岗岩类侵入体有成

表3 白干湖钨锡矿田矽卡岩中代表性交代矿物的电子探针分析

Table 3 Electron microprobe analyses of representative skarn minerals in the Baiganhu tungsten-tin orefield

组分	白干湖		柯可卡尔德		白干湖		柯可卡尔德		白干湖	
	BGZK0802-7-2 透辉石	BG62-2 透辉石	KK201-2 透辉石	KK212-1 透闪石	BG60-4 透闪石	BG62-1 阳起石	KK201-4 阳起石	KK212-2 氟金云母	BGZK0802-1-1 黝帘石	BG60-1 斜黝帘石
	$w(B)\%$									
SiO ₂	53.98	54.19	53.53	54.37	56.87	56.46	54.04	40.56	39.66	44.43
TiO ₂	0.04	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.01	0.15	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	0.26	0.28	0.25	0.48	0.44	0.36	1.59	11.43	29.85	22.93
FeO	4.53	5.12	7.93	7.47	4.89	8.35	13.48	8.72	2.41	0.12
MnO	0.05	0.27	0.71	0.48	0.28	0.68	0.53	0.18	0.04	0.00
MgO	15.27	15.10	13.54	18.60	20.89	18.51	15.05	20.30	0.02	0.01
CaO	25.48	25.44	24.96	12.51	13.13	13.01	12.40	0.02	24.25	25.97
Na ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.17	0.13	0.08	0.31	0.18	0.00	0.02
K ₂ O	0.00	0.02	0.00	0.16	0.01	0.01	0.29	9.86	0.01	0.51
P ₂ O ₅	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
F	0.09	0.00	0.20	2.05	1.27	1.60	0.74	5.66	0.00	0.29
Cl	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01
-(O=F ₂ +Cl ₂)	-0.03		-0.08	-0.86	-0.53	-0.67	-0.31	-2.37		-0.12
总和	99.69	100.46	101.07	95.49	97.42	98.43	98.14	94.71	96.26	94.19
	矿物端员分子/%									
CaMgSi ₂ O ₆ (Di)	85.77	83.32	73.63							
CaFeSi ₂ O ₆ (Hed)	14.23	15.83	24.18							
CaMnSi ₂ O ₆ (Joh)	0.00	0.85	2.19							

注 样品均由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室分析,仪器型号:日本产JXA-8230,分析者:陈小丹。

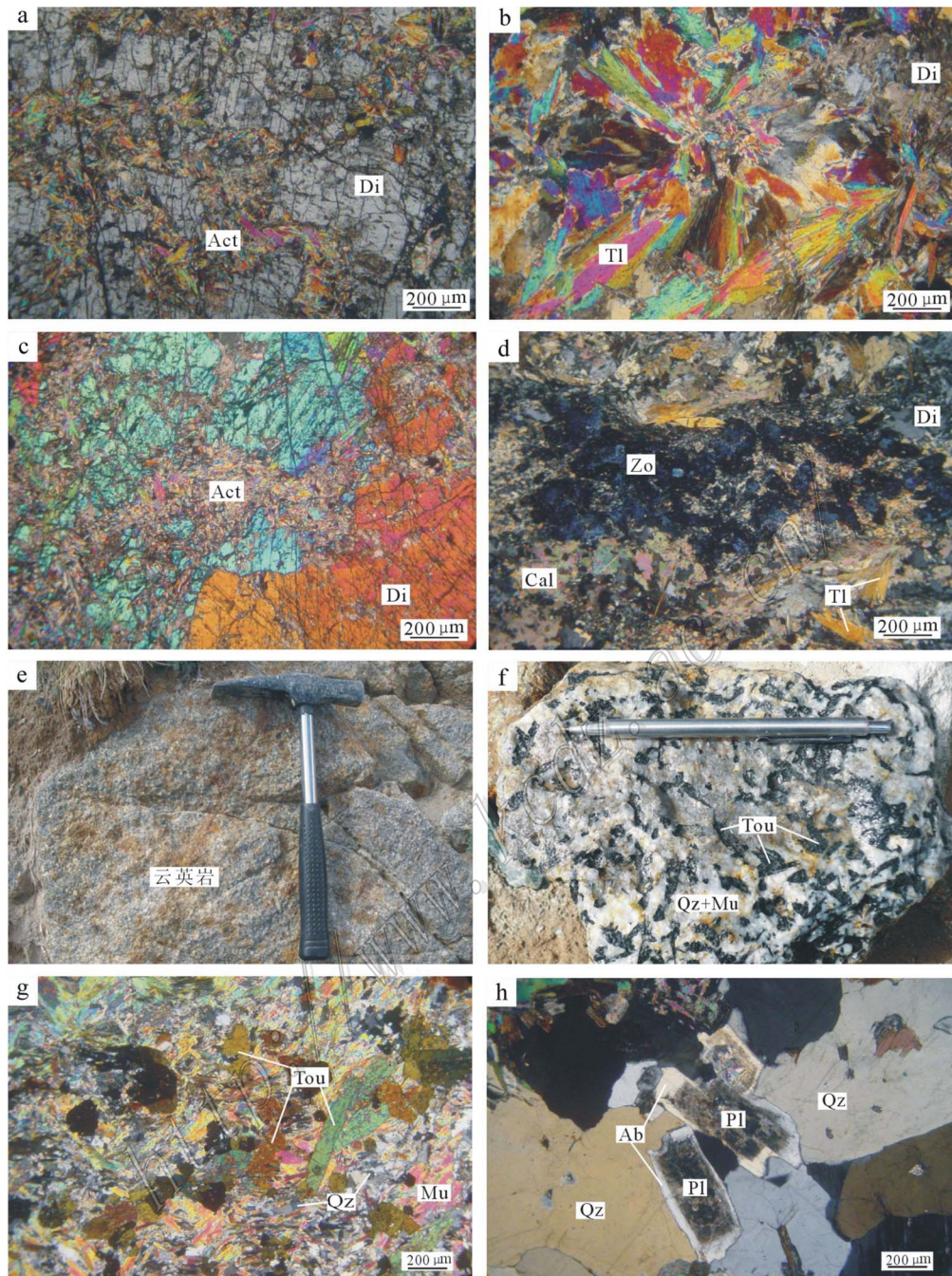


图 7 矽卡岩显微照片(正交偏光)和云英岩野外露头及其交代矿物显微照片(正交偏光)

a. 块状粗晶透辉石(Di)矽卡岩,局部见细晶阳起石(Act)集合体呈细网脉状叠加交代; b. 透闪石(Tl)透辉石(Di)矽卡岩,前者呈放射状团块集合体强烈交代后者; c. 阳起石(Act)透辉石(Di)矽卡岩,前者呈网脉团块状交代后者; d. 晚期细粒黝帘石(Zo)和方解石(Cal)呈条纹状细脉叠加于透闪石(Tl)透辉石(Di)矽卡岩之上; e. 石英白云母云英岩,产于花岗岩内接触带; f. 电气石云英岩,由中粗粒电气石(Tou)和石英(Qz)、白云母(Mu)组成,产于花岗岩内接触带外侧; g. 细粒电气石(Tou)云英岩(Mu+Qz)化绢云石英片岩; h. 云英岩化钠长石化花岗岩,钠长石(Ab)呈“净边”结构交代斜长石(Pl)的假象晶体,斜长石的核部遭强烈绢云母化和泥化

Fig. 7 Microscopic photos of skarn (crossed nicols) and greisens outcrops and its metasomatic minerals (crossed nicols)

a. Massive coarse grained diopside (Di) skarn, superimposed metasomatism of fine-grained actinolite (Act) aggregation; b. Tremolite (Tl) diopside (Di) skarn, the former in the form of radial massive aggregate pattern replacing the latter; c. Actinolite (Act) diopside (Di) skarn, the former in the form of reticulate veins and mass replacing the latter; d. Late fine grained zoisite (Zo) and calcite (Cal) in the form of stripe fine veins overlying tremolite (Tl) diopside (Di) skarn; e. Quartz-muscovite greisen, produced from inner contact zone of granite; f. Tourmaline greisen, composed of coarse grained tourmaline (Tou) and quartz (Qz), muscovite (Mu), produced from the outside of inner contact zone of granite; g. Fine-grained tourmaline (Tou) greisenized (Mu + Qz) sericite-quartz schist; h. Greisenized albitized granite, albite (Ab) in the “net edge” structure replacing the illusion crystal of the plagioclase (Pl), the central part of plagioclase with strong sericitization and mudization

因联系。矿田内云英岩主要产于隐伏花岗岩体的顶部及其边缘部位,或叠加于接触带砂卡岩之上,有时也产于外接触带围岩中。其中,柯可卡尔德、阿瓦尔和白干湖矿区云英岩化强烈,分布广泛,常伴生钠长石化和电气石化。根据云英岩产出形态可划分为面型和线型,前者发育于隐伏二长花岗岩体顶部及平缓接触面内侧部位,呈厚板状或似层状面型分布,按其矿物相对含量,多为石英白云母云英岩(图7e)、电气石云英岩(图7f)和石英萤石云英岩等,可含少量钠长石、磷灰石和黄铁矿等;后者主要发育于近接触带的花岗岩伸枝脉岩、砂卡岩或围岩中,呈脉状或网脉状分布,可见锡石黑钨矿电气石云英岩脉和白钨矿萤石-白云母云英岩脉。在面型云英岩中主要伴生白钨矿化,而在网脉状云英岩中通常是黑钨矿、锡石和白钨矿矿化。

通过对柯可卡尔德和白干湖矿床云英岩的代表性矿物进行电子探针分析,确定了它们的基本成分和名称(表4)。分析结果表明,这些交代矿物富含挥发组分氟等,多与气成交代作用有关,但遗憾的是由于仪器测试时没有挥发组分硼元素的标样,因此表内电气石等矿物分析结果缺少 B_2O_3 数据。

白云母是矿田分布最广的云英岩矿物之一,不仅广泛发育于云英岩交代岩中,而且还在锡石黑钨矿石英脉旁侧呈云母线产出。表4内柯可卡尔德矿区云英岩化二长花岗岩中的白云母成分与我国赣南钨锡矿床中产出的镁铁白云母近似(王濮等,

1984),大致介于白云母和金云母之间,属云英岩中较典型的矿物镁铁白云母;矿田云英岩中的电气石属于镁电气石-铁电气石-锂电气石类质同象系列。其中镁铁电气石主要产于白干湖矿区花岗岩内接触带的云英岩中,呈粗晶团块状或放射状集合体分布(图7g),晶体为柱状,具黄绿色至浅绿色,共生矿物有石英、白云母、萤石,还伴生大量白钨矿和氟磷灰石等。铁电气石则产于外接触带围岩内,呈细粒网脉浸染状分布于电气石化绢云石英片岩中(图7h),具深蓝色或黑色。电子探针分析表明,镁铁电气石成分的特点是 $w(FeO)$ 为8.94%~10.35%, $w(MgO)$ 4.36%~4.83%;铁电气石 $w(FeO)$ 达14.75%, $w(MgO)$ 仅为0.27%(表4)。

氟磷灰石产于二长花岗岩内接触带的富石英萤石云英岩中,矿物外表呈粗晶长短不一的柱状,横切面为不规则圆粒状,无色,中正突起,干涉色低似均质体,平行消光和负延长。对柯可卡尔德矿床近接触带的强云英岩化二长花岗岩中磷灰石进行了电子探针分析(表4), $w(F)$ 可达9.02%~10.05%,按其成分应属氟磷灰石,可能是一种花岗岩中副矿物磷灰石经强云英岩化作用形成的气成交代矿物。

这里应该特别需要说明的是,云英岩化岩石中普遍伴生有钠长石化交代作用。此类岩石主要见于内接触带云英岩化细粒二长花岗岩中,分布较广泛,但不甚发育。伴生的钠长石一般呈自形-半自形晶,聚片双晶明显,有时呈“净边”结构(图7h)交代原岩

表4 白干湖钨锡矿田云英岩中代表性交代矿物的电子探针分析

Table 4 Electron microprobe analyses of representative metasomatic minerals of greisen in the Baiganhu tungsten-tin orefield

组分	柯可卡尔德		白干湖		柯可卡尔德		
	KK211-3 镁铁白云母	BG57 镁铁电气石	BG76-3 镁铁电气石	BGZK0802-4-2 镁铁电气石	KK206-2 铁电气石	KK211-1 氟磷灰石	KK211-2 氟磷灰石
	$w(B)\%$						
SiO ₂	44.25	36.07	35.64	34.99	34.37	0.00	0.01
TiO ₂	0.16	0.87	0.85	0.29	0.28	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.79	31.19	30.76	31.39	31.77	0.01	0.00
FeO	2.13	8.94	9.32	10.35	14.75	0.08	0.08
MnO	0.12	0.05	0.01	0.00	0.69	0.92	0.87
MgO	0.29	4.83	4.67	4.36	0.27	0.00	0.00
CaO	0.00	0.49	0.53	0.54	0.07	52.96	53.09
Na ₂ O	0.85	1.99	2.01	2.15	1.99	0.06	0.01
K ₂ O	11.24	0.03	0.02	0.04	0.08	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	40.01	39.88
F	1.31	0.54	0.93	1.07	0.49	9.02	10.05
Cl	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
-(O=F ₂ +Cl ₂)	-0.55	-0.22	-0.39	-0.44	-0.20	-3.78	-4.22
总和	93.61	84.78	84.37	84.74	84.60	99.28	99.77

注:样品均由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室分析,仪器型号:日本产JXA-8230,分析者:陈小丹。

表 5 云英岩化二长花岗岩中钠长石电子探针分析结果

Table 5 Electron microprobe analyses of albite from greisenized adamellite

样号	矿物名称 (斜长石牌号)	$w(B)/\%$										
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总和
KK215-1	钠长石($\Delta_n=3$)	66.36	0.00	18.62	0.01	0.05	0.00	0.55	11.05	0.11	0.08	96.83
BG58-1	钠长石($\Delta_n=3$)	67.05	0.00	19.14	0.07	0.00	0.00	0.65	11.06	0.07	0.00	98.04
BG58-3	钠长石($\Delta_n=3$)	67.68	0.00	19.15	0.02	0.00	0.00	0.68	11.16	0.09	0.00	98.78
KK206-3	钠长石($\Delta_n=1$)	67.57	0.00	19.22	0.04	0.03	0.00	0.63	11.26	0.09	0.05	98.89
KK215-3	钠长石($\Delta_n=1$)	69.00	0.00	18.82	0.00	0.00	0.00	0.11	11.38	0.13	0.02	99.46
BG76-1	钠长石($\Delta_n=0$)	67.95	0.00	18.62	0.00	0.00	0.01	0.03	11.44	0.05	0.02	98.12
BG76-2	钠长石($\Delta_n=0$)	67.42	0.00	18.52	0.05	0.01	0.00	0.08	11.51	0.09	0.00	97.68
BGZK14804-6-2	钠长石($\Delta_n=0$)	68.28	0.00	18.48	0.00	0.00	0.00	0.05	11.59	0.06	0.03	98.49

注: 样品均由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室分析, 仪器型号: 日本产 JXA-8230, 分析者: 陈小丹。

斜长石或“条纹”结构交代原岩钾长石。当云英岩化强烈至形成云英岩时, 钠长石则少量出现。有意义的是, 经电子探针分析, 这些钠长石的质量分数均小于 5%, 多在 0~3% 之间(表 5)。

4.3 充填交代石英脉及硅化

石英脉主要发育于隐伏二长花岗岩体突起顶部外接触带变质砂岩中, 极少出现在花岗岩体中。脉岩与围岩的界线清楚, 明显受 NNE 向、NNW 向和

近 EW 向张(扭)性构造裂隙的形态控制, 常见与黑钨矿呈梳状构造(图 8a)排列。脉体可划分为单脉、脉列、脉群形式, 在空间上有时呈平行雁列式产出(柯可卡尔德), 有时也呈斜列侧羽式分布(巴什尔西)。其形态复杂, 具分支复合、尖灭再现、波状弯曲、膨大缩小等现象, 地表常沿云英岩化花岗岩伸枝岩岩旁侧呈平行复脉充填交代或穿切伴生(图 8b、c)及沿脉壁两侧对称发育垂直脉壁生长的白云母线(图

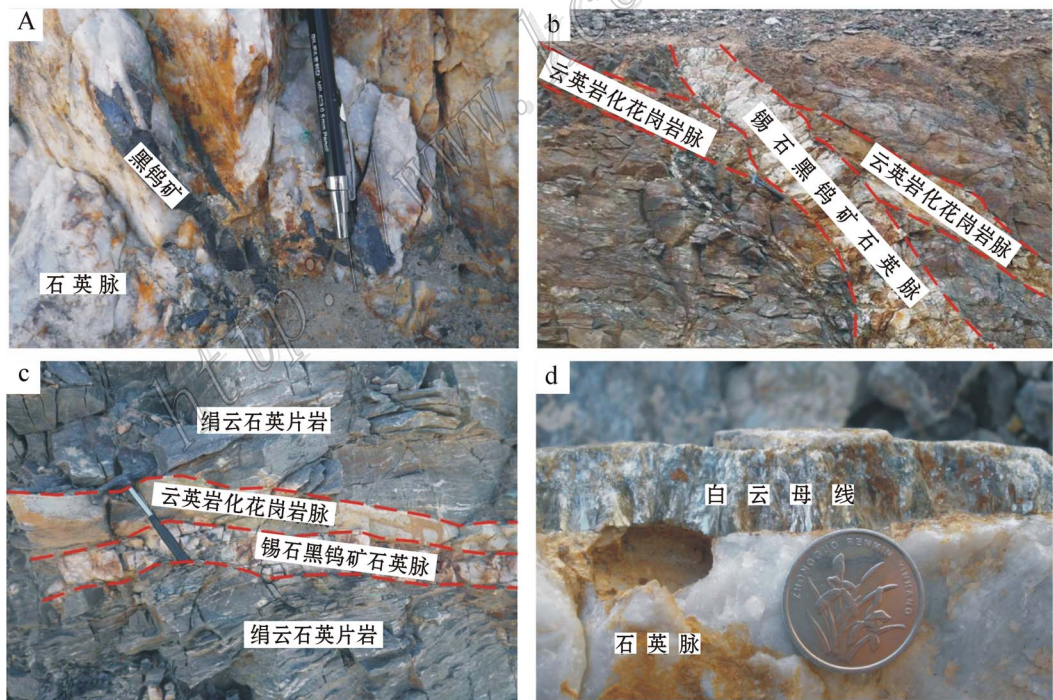


图 8 石英脉构造特征野外照片

a. 石英脉粗晶石英和黑钨矿呈梳状构造排列; b. 黑钨矿石英脉斜插云英岩化花岗岩伸枝岩脉; c. 黑钨矿石英脉沿云英岩化花岗岩伸枝岩脉旁侧呈平行复脉充填交代; d. 石英脉两侧对称垂直脉壁生长的白云母线

Fig. 8 Photos of characteristics of quartz vein structure

a. Quartz vein, coarse grained quartz and wolframite in comb structure arrangement; b. Wolframite quartz vein obliquely inserted into greisenization; c. Wolframite quartz vein filled in and replacing greisenized granite along the extended veins in the form of parallel veins; d. Muscovite vertically growing along both walls of quartz vein

8d)。李国臣等(2012a)在石英脉中发现富气相和富液相流体包裹体共存,这反映出脉体形成时存在沸腾现象。

石英脉的围岩蚀变主要为硅化,常发育于外接触带之绢云石英片岩中,但其蚀变带宽度仅数厘米至十几厘米,其蚀变岩一般均由清晰透彻的细糖粒状石英组成,明显不同于围岩的石英岩特征。

4.4 矿化交代岩分带

矿田内产于花岗岩和金水口群变质岩系围岩接触带的矿化蚀变交代岩往往具有一定的分带特征,这里列举最具代表性的白干湖矿区8勘探线分带剖面(图4)。

00 新鲜似斑状二长花岗岩(取自钻孔下部)

岩石较新鲜,斑晶为斜长石和格子状钾长石,粒径3~5 mm;基质主要组成矿物:石英、钾长石、更长石($An=15\sim 19$)和黑云母,粒径0.2~2 mm,含一定量磷灰石和锆石。

1 褪色蚀变中细粒二长花岗岩(0~49 m为剖面长度,下同):因受绿泥石化和云英岩化蚀变作用影响,岩石明显褪色,主要由石英、钾长石、钠长石和白云母组成。原黑云母大部分消失,仅局部留下少量残片,且常被鳞片状集合体的绿泥石或白云母沿解理或边部交代,并有一些微细铁质析出。更长石大多已钠长石化($An=0\sim 3$),钾长石多属条纹长石,副矿物与新鲜花岗岩中的相同。

2 白钨矿化云英岩(49~65 m):原岩花岗结构已被粒状、鳞片变晶结构所取代,主要由新生的粗粒石英(60%~70%)和大鳞片白云母(30%~40%)组成,粒径2~3 mm,含少量萤石和白钨矿。局部地段以放射状集合体白云母为主,呈透镜状或团块状分布。

3 白钨矿化电气石云英岩(65~72 m):主要组成矿物为石英(50%~60%)和电气石(40%~50%),后者常呈粗晶斑杂状或团块状分布。岩石内分布有少量浸染状白钨矿、萤石及后期叠加的细网脉浸染状含铜硫化物矿化。

4 褪色中细粒二长花岗岩(72~77 m):岩性基本同上述1带。

5 白钨矿化矽卡岩化钙质石英片岩(77~96 m):岩石挤压破碎明显,主要由条带状细粒石英集合体组成,部分见细粒透辉石和透闪石、黝帘石和斜黝帘石集合体呈条纹状平行排列。透闪石和帘石类矿物一般交代透辉石,伴生有少量白钨矿。

6 白钨矿化阳起石透闪石化透辉石矽卡岩(96~172 m):主要由条带状细粒透辉石(60%~65%)组成,含少量石英、白云母、萤石。岩石中常叠加有不等量的后期蚀变矿物透闪石和阳起石呈条纹状集合体交代透辉石,形成一种较特殊的条纹条带状互层构造,而白钨矿总是呈自形-半自形晶散布于矽卡岩中。普遍见有晚期碳酸盐细网脉穿切。

7 含矿石英脉叠加的矽卡岩化钙质石英片岩(172~200 m):岩性基本同上述5带,但通常叠加有晚期充填交代作用形成的石英细脉,并伴生少量黑钨矿化、黄铜矿化、黄铁矿化和辉钼矿化等。

表6列出了上述新鲜似斑状二长花岗岩、褪色二长花岗岩、云英岩、矽卡岩和围岩的常量元素和某些微量元素的分析结果。从表中可以看出,与大理岩相比,形成矽卡岩所需的大量Fe、Si、Mn、W、Cu、Zn、Mo、Be、Bi、V、Cr、Co和Ni等元素主要是从深部岩浆期后气液中通过渗滤交代方式带入的,而Ca、Mg和Al等组分则是就地取材于大理岩和岩浆岩;与新鲜二长花岗岩对比,富石英云英岩的Fe、Mn、Mg、Al、Ca、Na和K相对减少,而Si、W、Pb、Mo和Bi等明显增高,这反映出新鲜二长花岗岩遭云英岩化后,富铁质的暗色矿物和长石类矿物消失,与出现石英、白云母、萤石和白钨矿等新生交代矿物大致可以对应。

5 控矿因素和矿床成因

白干湖矿田已发现柯可卡尔德、白干湖、巴什尔希和阿瓦尔钨锡矿床4处。钨锡矿(化)体均产于加里东期巴什尔希花岗杂岩体南缘接触带上,与二长花岗岩侵入体有密切联系。矿田内二长花岗岩成矿元素W、Sn平均含量分别高于世界花岗岩(Виноградов,1962)数十倍和数倍,表明钨锡成矿作用是在花岗岩岩浆有较高浓度的地球化学背景下形成的,这是矿床形成的重要物质基础。

矿田金水口群地层钨、锡丰度高,岩性多为变质砂岩。岩石化学性质稳定,刚柔适中,岩层产状较平缓,封闭条件良好,岩浆中的含矿气液或挥发组分不易逸散,加之接触带围岩中又分布有一定规模的大理岩夹层,有利于矿液的交代、充填而富集成矿。因此,地层也是形成白干湖钨锡矿田一个非常有利的地质条件。

矽卡岩型白钨矿化主要发育于二长花岗岩体接

表 6 二长花岗岩及其蚀变交代岩和围岩常量元素、微量元素分析

Table 6 Major elements, trace elements analyses of adamellite and its altered rocks and surrounding rocks

组分	BGZK0802-13	BG51 褪色中	BG56	BG62 白钨矿化	BG69 砂卡岩化
	新鲜似斑状二长花岗岩	细粒二长花岗岩	富石英云英岩	透闪石透辉石砂卡岩	钙质石英片岩
	$\omega(B)\%$				
SiO ₂	71.10	71.88	85.24	51.56	56.62
TiO ₂	0.26	0.30	0.14	0.38	0.62
Al ₂ O ₃	14.55	13.84	8.54	5.64	9.26
Fe ₂ O ₃	0.19	0.69	0.32	0.67	0.45
FeO	1.85	1.70	0.65	4.70	3.05
MnO	0.10	0.12	0.07	0.35	0.11
MgO	0.64	0.71	0.32	14.77	9.25
CaO	1.97	1.79	0.28	15.81	12.53
Na ₂ O	3.33	3.32	0.27	0.27	0.42
K ₂ O	4.23	3.54	2.66	1.49	5.58
P ₂ O ₅	0.11	0.13	0.09	0.02	0.05
烧失量	1.44	1.77	1.34	3.21	1.69
总和	99.77	99.79	99.92	98.87	99.63
	$\omega(B)10^{-6}$				
W	6.96	5.57	301	1783	8.51
Cu	19.10	35.30	9.31	19.30	9.38
Pb	28.20	21.70	295	13.60	9.54
Zn	61.40	74.10	21.40	260	97.80
Mo	0.58	3.02	3.66	3.01	0.74
Be	6.82	8.62	3.78	19.50	6.36
Bi	0.47	10.40	58	87	1.01
V	21.70	27.90	14.30	59.80	71.50
Cr	10.70	9.24	9.61	32.60	46.70
Co	3.03	2.78	1.14	14.30	9.93
Ni	4.10	3.25	2.45	23.80	27.40

分析单位:核工业北京地质研究院分析测试中心,仪器型号:ELEMENT 等离子体质谱分析仪。

触带或外接触带大理岩中,矿体的产出与砂卡岩和地层产状基本一致,呈似层状、透镜状分布,具有一定层位;云英岩型钨锡矿化则产于岩体顶部凸起内接触带部位,尤其是在隐伏岩株小突起最为发育,但随着其下部云英岩化蚀变的减弱,矿化体亦减弱;石英脉型钨锡矿化主要产于岩体顶部外接触带变质砂岩中,少量矿脉延伸至砂卡岩内或与花岗岩顶部伸枝岩脉云英岩型矿化共生,围岩蚀变以硅化为主。

综上所述,矿田内各矿床(化)在空间上常围绕二长花岗岩的突起,从岩体内接触带向外接触带碳酸盐岩或变质砂岩围岩方向呈现一定的带状分布,而在时间上又有一个从砂卡岩阶段→云英岩阶段→石英脉热液充填交代阶段的逐渐演化过程。当岩浆期后高温-气液与碳酸盐岩围岩相互作用形成接触交代型钙砂卡岩(伴有多量白钨矿的沉淀)后,由于热流体温度的下降,酸性组分和氟、硼、羟基等挥发组分由气相转变为液相并在溶液中相对富集,促使溶液酸度增高,致使岩体顶部内接触带及其附近砂

卡岩或围岩发生了强烈的酸性淋滤作用,形成不同新生交代矿物组合的云英岩,并伴生云英岩化花岗岩微细网脉浸染型钨锡矿化。随着酸性溶液在岩体顶部进一步聚集,压力不断增大,封闭的体系突然被打开,成矿流体沿外接触带围岩裂隙运移,温压下降,于张性成矿裂隙和层间构造中充填交代形成中低温石英脉型钨锡矿体,从而构成一个与隐伏的二长花岗岩类有关的砂卡岩-云英岩-石英脉复合型钨、钼、铜、银、钼、镓等)成矿系列。

6 结 论

(1)巴什尔希杂岩体主要由早期钾长花岗岩和晚期二长花岗岩组成,它们的 SIMS 锆石 U-Pb 年龄分别为(422±4)Ma 和(421±4)Ma。矿田内云英岩型矿化的二长花岗岩脉和锡石黑钨矿石英脉壁云母线的白云母³⁹Ar-⁴⁰Ar 坪测年结果分别为(411.7±2.6)Ma 和(412.8±2.4)Ma,说明成岩成矿年龄比

较接近,应代表了该地区加里东期晚志留世大规模岩浆-成矿作用事件。

(2) 钨锡矿化与隐伏的二长花岗岩体密切相关,显示出一定的分带性:①产于岩体突起顶部(包括伸枝脉岩)内接触带的云英岩型钨锡矿体;②产于接触带和外接触带的矽卡岩型白钨矿体;③产于外接触带的石英脉型锡石黑钨矿体。

(3) 云英岩、矽卡岩和石英脉岩在空间上围绕二长花岗岩呈现出一定的带状分布规律,在生成时间上具先后顺序,在成因上都与二长花岗岩有关,它们共同构成了一个与中酸性岩浆岩有关的矽卡岩-云英岩-石英脉复合型钨、锡(铜、银、钼、镓等)成矿交代系列。

志 谢 感谢吉林省地质调查院领导和有关同志在野外工作期间给予的大力帮助和支持。

参考文献/References

包亚范,刘延军,王鑫春. 2008. 东昆仑西段巴什尔希花岗岩与白干湖钨锡矿床的关系[J]. 吉林地质, 27(3): 56-67.

高晓峰,校培喜,谢从瑞,范立勇,过 磊,奚仁刚. 2010. 东昆仑阿牙克库木湖北巴什尔希花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 29(7): 1001-1008.

黎敦朋,肖爱芳. 2010. 祁漫塔格西段白干湖钨锡矿区巴什尔希花岗岩序列及构造环境[J]. 西北地质, 43(4): 53-61.

李国臣,丰成友,王瑞江,李洪茂,周安顺,马圣钊,刘建楠,肖 晔. 2012a. 新疆若羌县柯可卡尔德钨锡矿床地质特征与流体包裹体

研究[J]. 地质学报, 86(1): 209-218.

李国臣,丰成友,王瑞江,马圣钊,李洪茂,周安顺. 2012b. 新疆白干湖钨锡矿田东北部花岗岩锆石 SIMS U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 地球学报, 33(2): 216-226.

李洪茂,刘 忠,时友东,王 速,王正科. 2005. 新疆东昆仑白干湖钨锡矿床地质特征[J]. 地质与资源, 14(1): 33-36.

李洪茂,时友东,刘 忠,王保金,王泽利,邱希萍. 2006. 东昆仑山若羌地区白干湖钨锡矿床地质特征及成因[J]. 地质通报, 25(1~2): 277-281.

李洪茂,时友东,刘 忠,邵学军. 2007. 东昆仑西段黑山-祁漫塔格成矿带钨锡成矿地质条件及找矿方向[J]. 地质与资源, 16(2): 86-90.

刘贵忠,李洪茂,王聚胜,张天民,宋成印. 2007. 新疆东昆仑白干湖钨锡矿田矿化体模型[J]. 新疆地质地质, 25(2): 169-174.

刘子峰,崔雅茹,魏 微. 2007. 新疆东昆仑白干湖钨锡矿床地球化学特征[J]. 吉林地质, 26(4): 54-60.

宋茂德,刘 忠,李洪茂,孙兴有. 2010. 新疆东昆仑白干湖成矿带成矿地质背景及找矿方向[J]. 西北地质, 43(4): 44-52.

时友东,尹占军,孙兴友. 2004. 新疆东昆仑白干湖钨锡矿床Ⅲ矿段地质特征[J]. 吉林地质, 23(4): 44-48.

王宝金,迟效国,刘 忠,李宏茂,时友东,李桂芝,张天民. 2007. 新疆东昆仑白干湖钨锡地球化学块体的确立及意义[J]. 地质与勘探, 43(5): 82-87.

王 濮,潘兆枢,翁玲宝. 1984. 系统矿物学[M]. 北京:地质出版社.

赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊. 2012. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社.

Виноградов А. П. 1962. Среднее содержание химических элементов в главных тилах изверженных горных пород земной коры[J]. Геохимия, No. 6.