

# 柿竹园钨锡多金属矿床矽卡岩中碱交代脉研究

程细音<sup>1,2</sup> 祝新友<sup>2</sup> 王艳丽<sup>2</sup> 李顺庭<sup>2</sup> 韩 英<sup>1</sup>

(1.昆明理工大学国土资源工程学院,云南 昆明 650093;2.北京矿产地质研究院,北京 100012)

**摘要:**柿竹园钨锡多金属矿床地处南岭中段,矿种多、规模大、共生组分丰富,是世界罕见的超大型钨锡钼铋多金属矿床。区内发育有大量不同类型的脉体,包括酸性岩浆岩脉、云英岩脉、碱交代脉等,其中发育于矽卡岩中的碱交代脉是矿区规模最大、分布最广的矿体。本文通过详实的野外地质调研、显微镜下岩相学鉴定以及电子探针测试分析,发现大部分碱交代脉中以钾长石、斜长石、石英、萤石为主,白云母含量较少,一般小于 3%,含少量黄玉、电气石等矿物,并非前人所称的“云英岩脉”或“云英岩网脉”,脉体外侧发育较多的石榴子石、透辉石等矽卡岩类矿物,脉体及其两侧含有较多的白钨矿、磁铁矿等氧化物。从矿物组合和矿化特点上分析,碱交代脉总体碱质成分含量较高,发生了较强的碱交代作用,脉体的形成与矽卡岩演化关系密切,可进一步分为:早阶段碱交代脉,富斜长石、黑钨矿,表现形成矽卡岩,对应矽卡岩演化的矽卡岩阶段,是黑钨矿的主成矿期;晚阶段碱交代脉,富钾长石、白钨矿、磁铁矿,表现为交代矽卡岩,对应矽卡岩演化的退变质阶段,是白钨矿的主成矿期。综上,柿竹园矿床矽卡岩中碱交代脉,制约和影响矽卡岩的形成与成矿,贯穿矽卡岩演化过程的矽卡岩阶段和退变质阶段,其形成的矿体为矽卡岩型矿体。

**关键词:**柿竹园;钨锡多金属矿床;矽卡岩演化;碱交代脉

**中图分类号:**P618.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)04-1023-

柿竹园钨锡多金属矿床地处南岭中段,以矿种多、规模大、共生组分丰富、成矿条件复杂而闻名于世,探明的钨、锡、钼和铋的金属总储量已超过百万吨,为世界罕见的特大型钨多金属矿床<sup>[1-2]</sup>。矿床位于郴州市南东 25 km 处,是东坡矿田中重要的钨锡钼铋矿床之一,1957 年发现,60 年代初期开采,至今已有 50 多年的历史。

前人曾相继对柿竹园矿开展过一系列的研究工作,研究程度很高,涉及成矿作用、成矿条件、控矿因素、成矿规律、矿床成因、成矿模式、以及有关的岩石、矿物和地球化学方面的工作。王昌烈,罗仕徽等<sup>[3]</sup>在系统介绍柿竹园矿床的成矿地质背景和矿床地质特征的基础上,总结归纳其矿床成因为云英岩-矽卡岩复合型钨锡钼铋多金属矿床,并将发育于矽卡岩中的各类脉体称“云英岩脉”或“云英岩网脉”,提出其与矿化关系最为密切,是柿竹园矿床中分布最广、规

模最大的矿体,此观点一直影响至今。

笔者在对柿竹园野外实地考察时发现在大部分脉体中只有少部分的脉体中含有较多的云母、石英、黄玉,属于典型的云英岩脉,而大部分前人所描述的“云英岩网脉”的脉体中央以碱性长石(含量可达 30%~40%)、石英、萤石为主,而云母、黄玉的含量极少,碱质成分含量较高,碱交代作用强烈,可将其厘定为碱交代脉。本文即主要在对上述碱交代脉的野外实地观察的基础上,结合镜下矿物组合分析以及脉体内部长石电子探针测试,初步对该类脉体的矿物组合进行总结归纳,简要探讨碱交代作用过程与矽卡岩演化的关系及脉体成因。

## 1 矿床地质特征

柿竹园钨锡多金属矿床位于华南板块中部,钦杭缝合带的中段,处于区域性北北东向东坡—月枚

收稿日期:2011-11-14;改回日期:2012-05-09

基金项目:本文受国家危机矿山科研项目“湘南-粤北地区钨锡多金属矿床成矿规律总结研究”(20089927)资助。

作者简介:程细音,女,1986 年生,硕士生,矿产普查与勘探专业;E-mail:chengxiyin36@126.com。

通讯作者:祝新友,男,1965 年生,教授级高级工程师,矿床地球化学专业;E-mail:zhuxinyou@tom.com。

复式向斜的北部昂起端,断裂构造高度发育,主要受近南北向、北东向、北西向、东西向4组断层及大量的节理、裂隙等构造控制<sup>[1-3]</sup>。区内出露有震旦系泗洲山组( $Z_3s$ )浅变质海相碎屑岩、中泥盆统跳马涧组

( $D_{2t}$ )石英砂岩、棋梓桥组( $D_{2q}$ )白云质灰岩夹灰岩、上泥盆统余田桥组( $D_{3s}$ )条带状灰岩、泥灰岩。其中,棋梓桥组的白云质灰岩夹灰岩是区内主要的成矿围岩(图1)<sup>[4-5]</sup>。

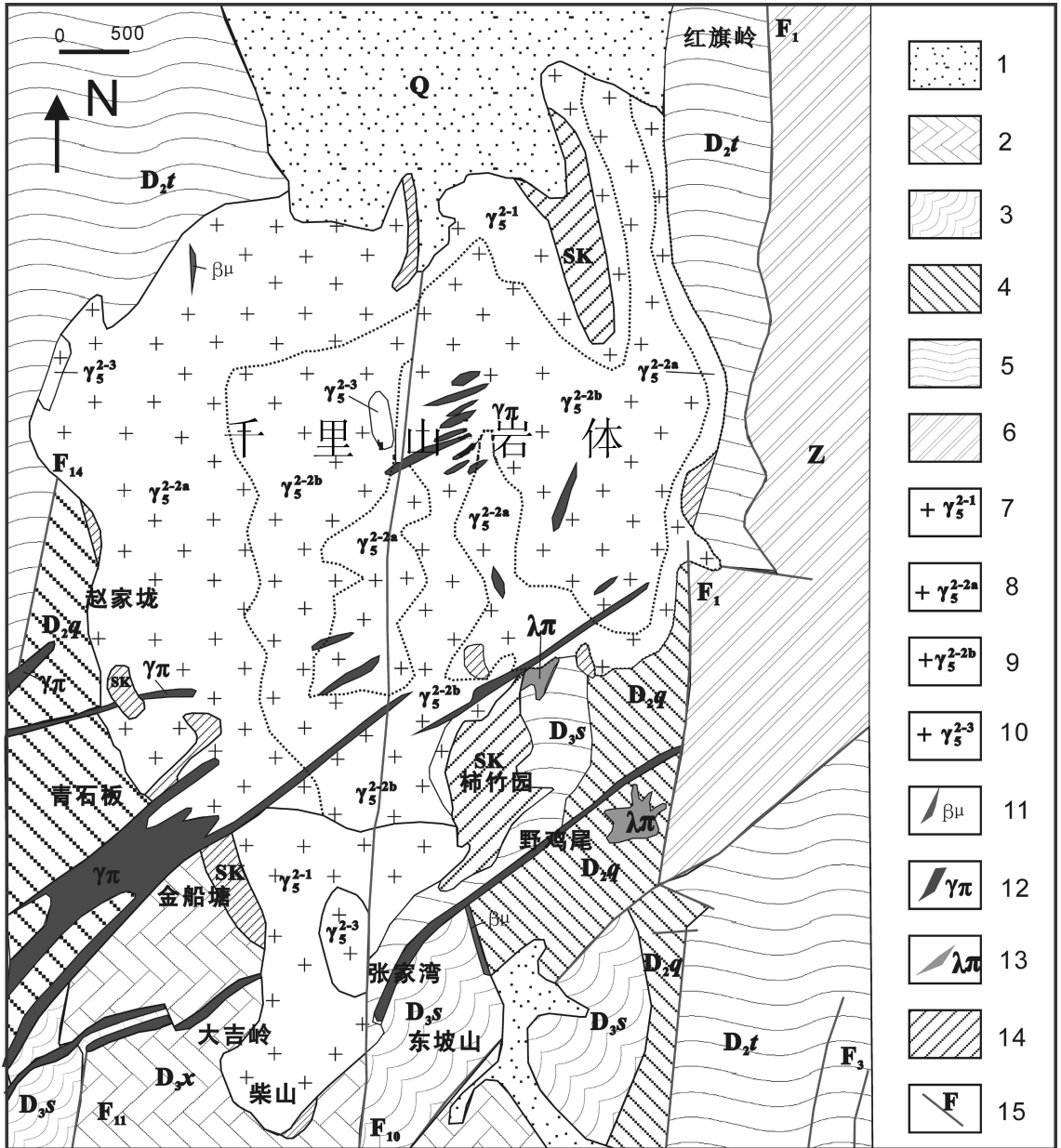


图1 柿竹园钨锡多金属矿床矿区地质略图(据王昌烈等,2011 修编)

1—第四系残坡积层;2—上泥盆统锡矿山组灰岩,含白云质灰岩;3—上泥盆统余田桥组泥晶灰岩;4—中泥盆统棋梓桥组白云岩,含白云质灰岩;5—中泥盆统跳马涧组含砾砂岩和砾岩;6—震旦系长石石英砂岩;7—细粒斑状黑云母花岗岩;8—细粒黑云母花岗岩;9—中粒黑云母花岗岩;10—细粒花岗岩;11—辉绿岩;12—花岗岩;13—石英斑岩;14—矽卡岩;15—断层

Fig.1 Schematic geological map of the Shizhuyuan orefield (modified after Wang Changlie, 2011)

1—Quaternary residual and slopewash layer; 2—Upper Devonian Xikuangshan Formation limestone, dolomitic limestone; 3—Upper Devonian Shetianqiao Formation micrite; 4—Middle Devonian Qiziqiao Formation dolomite, dolomitic limestone; 5—Middle Devonian Tiaomajian Formation gravel-bearing sandstone and conglomerate; 6—Sinian; 7—Fine-grained porphyritic biotite granite quartzose arkose; 8—Fine-grained biotite granite; 9—Medium-grained biotite granite; 10—Fine-grained granite; 11—Diabase; 12—Granite porphyry; 13—Quartz porphyry; 14—Skarn; 15—Fault

成矿母岩是千里山复式花岗岩岩株,走向近南北,平面出露表现为北宽南窄,形似倒葫芦状,面积近 10 km<sup>2</sup>,主要形成于燕山早期,具有多期性、多阶段侵入特点<sup>[6-9]</sup>。3 个期次花岗岩均经历了高度分异演化,是一种比较典型的 BELIF 矿化花岗岩,同时也是一种高热花岗岩,相应形成了与花岗岩系列有关的三大成矿系统<sup>[6,10]</sup>与矿有关的围岩蚀变主要有矽卡岩化、云英岩化、钾长石化、萤石化等<sup>[1]</sup>。矿田矽卡岩围绕千里山岩体多处分布<sup>[2,4,11]</sup>,尤其岩体东南缘接触带柿竹园、东坡、玛瑙山矽卡岩分布最多,近南北向分布,微向东倾,往南往北两个方向矽卡岩逐渐变薄至尖灭。其中,柿竹园矽卡岩规模最大,长 1 000~1 200 m,宽 600~800 m,一般厚度为 150~200 m,最厚大于 500 m。王昌烈等<sup>[1]</sup>和刘阳生等<sup>[7]</sup>将矿区内矿体自上而下分为以下 4 种类型:网脉状大理岩锡矿,矽卡岩钨铋矿,云英岩网脉-矽卡岩钨钼铋矿和云英岩型钨锡钼铋矿(图 2)。

矿物的共生分析表明矽卡岩的形成主要经历了 3 个阶段<sup>[12]</sup>,即矽卡岩阶段,主要形成石榴子石、透辉石、符山石、硅灰石等矽卡岩类矿物;退变质阶段,此时早期矽卡岩矿物被角闪石,绿帘石和萤石交代,主要形成白钨矿、磁铁矿等氧化物,伴随发生强烈的 W-Mo-Bi 矿化;硫化物阶段,主要形成黄铁矿、磁

黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等金属硫化物的沉淀阶段。

## 2 碱交代脉

### 2.1 矽卡岩中的各类脉体概述

柿竹园矿床中发育大量不同类型的脉体,尤其是矽卡岩中,脉体性质复杂,野外产出形态、矿物共生分布等都具有各自不同的特点,大多与矿化密切相关,脉体愈密集、矿化品位愈高。在岩浆-热液演化作用下构成了柿竹园矿床矽卡岩中各类脉体多种多样的表现形式,总体上可以大致分为 3 类:

酸性岩浆岩脉:脉体大多走向 NE60°~70°,较陡倾,倾向南东,大多数岩脉宽度变化较大,0.1~0.5 m,脉体平直,呈灰色-浅灰白色,岩性为细粒碱长花岗岩,主要由钠长石(30%~50%)、钾长石(10%~30%)、石英(20%~30%),少量白云母(1%~6%)以及微量萤石、黄玉、黄铁矿、辉钼矿等矿物组成(图 3-A),与矽卡岩的界线截然,局部伴随有云英岩化。大部分的酸性岩浆岩脉穿插较早期的碱交代脉,形成于矽卡岩晚期或矽卡岩期后。

云英岩脉:矽卡岩中发育的典型的云英岩脉很少,出露的脉体多呈浅灰白色-灰白色,主要岩性为富石英云英岩、富黄玉云英岩等,普遍含有较多的石英、黄玉。此类脉体往往伴随着花岗质脉存在(图 3-

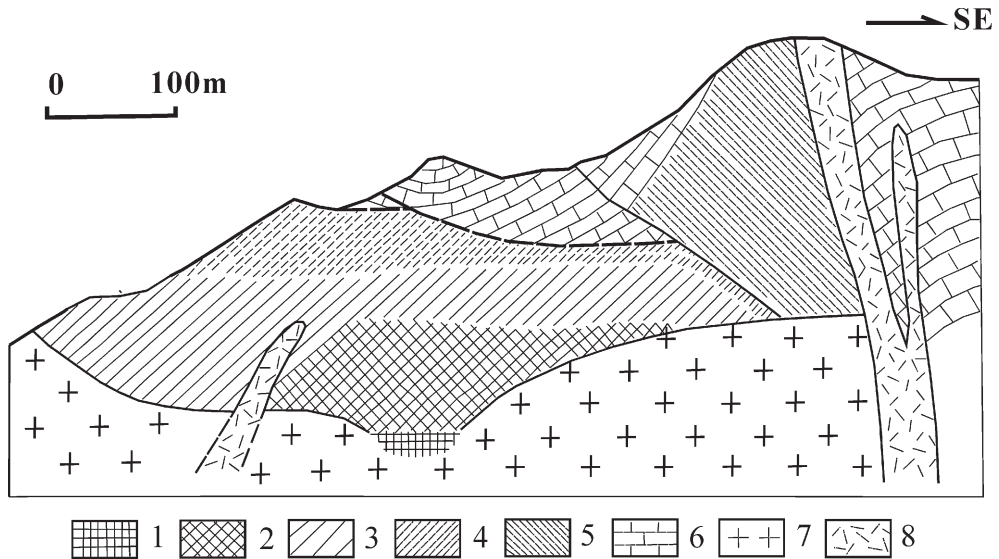


图 2 柿竹园钨锡多金属矿床成矿地质剖面图(据杨超群,1984 修编)

- 1—云英岩型 W-Mo Bi 矿石;2—网脉状云英岩-矽卡岩复合型 W-Sn-Mo-Bi 矿石;3—矽卡岩型 W-Bi 矿石;4—矽卡岩型 Bi 矿石;5—大理岩型 Sn 矿石;6—大理岩;7—千里山补充期花岗岩;8—花岗斑岩
- Fig.2 Geological section through the Shizhuyuan deposit (modified after Yang Chaoqun, 1984)
- 1—Greism with W-Mo-Bi; 2—Skarn with W-Sn-Mo-Bi; 3—Skarn with W-Bi; 4—Skarn with Bi; 5—Marble with cassiterite-sulfide-tourmaline stockwork veins; 6—Marble; 7— Qianlishan granite; 8—Granite porphyry

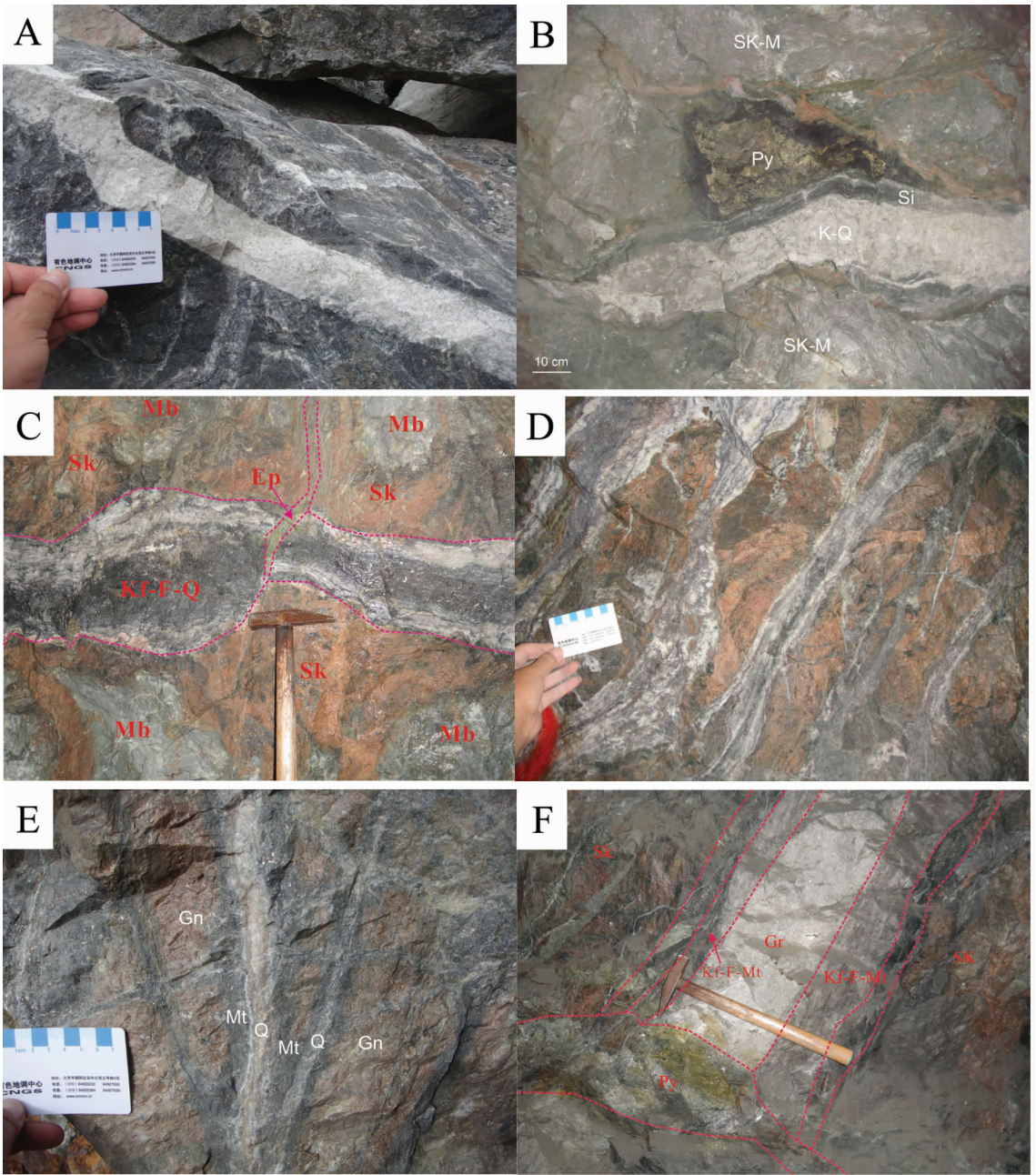


图3 柿竹园矿床矽卡岩中各类脉体野外产出特点

A—浅色花岗质脉,围岩矽卡岩;B—花岗质脉—云英岩脉,云英岩化中间弱,两侧强,外侧发育有晚期的黄铁矿;C—早阶段碱交代脉,发育于矽卡岩化大理岩中,可见明显的绿帘石脉切穿碱交代脉;D—矽卡岩中晚阶段的碱交代脉;E—矽卡岩中晚阶段的碱交代脉,脉体两侧可见明显的磁铁矿暗化边;F—花岗质脉—碱交代脉—暗化边,中间为浅色的花岗质脉,两侧为碱交代脉

Fig.3 Photographs of field modes of occurrence of the veins in skarn, Shizhuyuan deposit

A—Light-colored granitic vein, surrounding rock being skarns; B—Granitic vein—greisen vein, strong greisenization on both sides, pyrite distributed on the outer side; C—Early alkali metasomatic vein in skarnized alteration marble, cut by epidotized vein; D—Late alkali metasomatic vein in skarn; E—Late alkali metasomatic vein in skarn, vein bodies on both sides assuming obvious dark magnetite edge; F—Granitic vein—alkali metasomatic vein—dark edge, granitic vein at the center and—alkali metasomatic veins on both sides

B),主要分布在花岗质脉的边部,含少量黑钨矿化。大多数云英岩脉更多表现为不同程度云英岩化的花岗质脉岩,只有少量完全蚀变为云英岩。一般情况下,花岗质脉云英岩化边部强、中间弱,边部强烈时即表现为云英岩脉,中部为典型的花岗结构,边部为云英岩的交代结构,含有少量的黑钨矿化。

碱交代脉:是柿竹园分布最广泛的脉体,前人将其称为“云英岩脉”或者“云英岩网脉”,主要呈网脉状分布于石榴子石矽卡岩中或者网脉状矽卡岩化大理岩中,脉体不规则,走向无明显的方向性,脉体呈灰白-浅灰白色,宽度 0.1~0.5 m,脉体中内部含较多的钾长石萤石细脉,与矽卡岩化密切相关(图 3-C、D、E、F)。

此外,碱交代脉中存在显著的分带特点,脉体自内而外,分别为白色花岗岩带、白色钾长石-萤石-石英带、深灰-灰黑色暗化边带,各带间呈快速过渡状,对称发育(图 4),各带主要特征如下所述。

白色花岗岩带:宽度<20 cm,细粒,典型花岗岩结构,主要矿物为斜长石、钾长石、石英及少量白云母,是较为早期的碱交代脉中发育的细粒花岗岩内核,一般在晚期的碱交代脉中不发育,矿化很弱或无矿化。

钾长石-萤石-石英带:位于白色花岗岩的两侧,宽度变化较大,集中表现为大量细脉集合体,白色-灰白色,是碱交代脉的主体,富含大量的白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、自然铋、锡石等矿石矿物,晚期碱交代脉中广泛发育。

暗化边带:深灰色-灰黑色,含有较强的钨钼矿化,同时伴有少量的磁铁矿,往往与白色花岗质带同

时出现。

## 2.2 碱交代脉

根据脉体中矿物共生组合分布特点,总结脉体演化发育的不同成熟程度,大体可进一步划分为早阶段碱交代脉和晚阶段碱交代脉。

### 2.2.1 早阶段碱交代脉

主要分布于网脉状矽卡岩化大理岩中,在块状矽卡岩中则多呈残留状不规则分布,脉宽一般<30 cm,脉体中间常含有花岗质成分,主要有斜长石、钾长石、石英、萤石等矿物组成,常含有少量黑钨矿,偶见少量白云母等,脉体边部稳定分布有大量的石榴子石、透辉石等矽卡岩矿物。此外,在网脉状矽卡岩化的大理岩中,还可以发现绿帘石或沿碱交代脉分布,或者呈不规则脉状切穿碱交代脉,表明绿帘石形成于早阶段碱交代脉之后(图 3-C)。

脉体内部钾长石往往呈粗粒肉红色,不均匀分布于脉体中部,与石英、萤石共生;斜长石细粒不规则状,粒径<0.1mm,主要分布在碱交代脉内部;黑钨矿呈梳状常常分布于脉壁,大部分被白钨矿强烈交代,但仍然保留清晰的黑钨矿晶形。该类脉体也是柿竹园矿床的黑钨矿的主要赋存部位。

脉体边部主要由石榴子石、透辉石等矿物组成,部分还含有阳起石(图 4-A),是矽卡岩形成的主要方式。在矿床的深部 385 中段,脉体两侧出现大量透辉石、少量石榴子石,形成透辉石矽卡岩。随着矽卡岩化的深入,碱交代脉边部进一步出现阳起石、萤石,有时伴有少量磁铁矿(图 4-B)。

综上,可以分析得出,早阶段的碱交代脉是矽卡

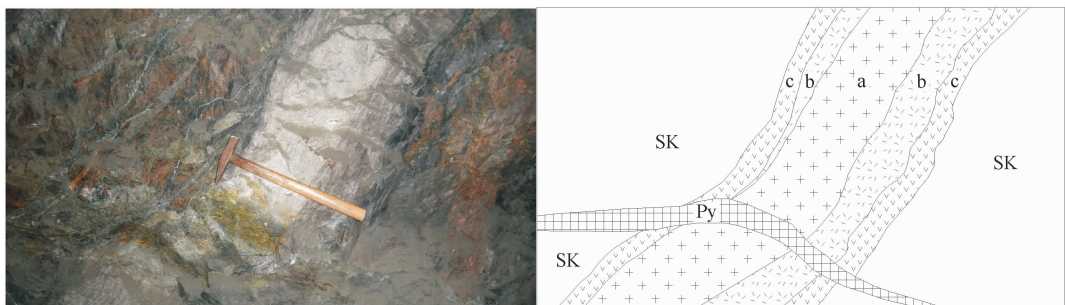


图 4 碱交代脉的分布  
左—碱交代脉分带特点;右—同左,素描图。a—白色细粒花岗岩;b—钾长石-萤石-石英;c—暗化边。  
SK—石榴子石矽卡岩;Py—黄铁矿脉

Fig.4 Zoning of the alkali metasomatic veins  
Left—Zoning characteristics of alkali metasomatic veins; Right—Same as A, sketch. a—White fine grained granite;  
b—K-feldspar-fluorite-quartz;c—Dark edge. SK—Granat skarn;Py—Pyrite vein

岩阶段中发生强烈碱交代作用的一种表现形式,也是形成石榴子石、透辉石矽卡岩的主要供给系统。

### 2.2.2 晚阶段碱交代脉

晚阶段碱交代脉广泛分布于厚层状矽卡岩中,脉体表现为钾长石-石英-萤石脉,成分与早期碱交代脉相似,受多组裂隙控制,多形成网脉状,脉中富含钨、钼、铋矿物,是这些矿石矿物的主要载体,因而此类网脉发育的程度与钨钼铋矿化密切相关。

脉体由密集的细节束组成,总脉宽 30~50 cm,单个细脉脉宽<1 cm,脉体延长不规则状(图 3-D),脉体与矽卡岩围岩界线不明显,呈快速过渡状,这一点也明显不同于早期碱交代脉。脉内岩石主要为他形变晶结构、半自形变晶结构,条带状构造。脉体内部主要矿物组成相似,包括钾长石、萤石、少量石英、磁铁矿,有时见有少量的阳起石、白云母,但不同矿物组成比例变化很大;脉体边部以灰色细粒硅质为主,钾长石部分发育绢云母化;脉体两侧往往发育阳起石化、符山石化、磁铁矿化等,常形成宽 5~10cm 的暗色磁铁矿带(图 5-A)。此外,脉体中边部往往出现大量浸染状分布的白钨矿、辉钼矿、辉铋矿,其中钼、铋矿物更多地集中于脉体内(图 3-E)。

钾长石粒度较细,一般<0.1 mm,含量 20%~50%,局部蚀变较强,共生矿物包括石英、萤石、磁铁矿、白钨矿等。碱交代脉中钾长石含量往往随演化自早至晚逐渐降低,早世代脉体中钾长石含量大多>50%,而晚世代脉体以萤石为主,白钨矿增多,并出现大量的钼、铋硫化物,钾长石含量一般<10%。萤石

细粒,含量 10%~40%,无色透明,呈不规则粒状或立方体形,粒径多为 0.03~0.2 mm,较大可达 2 mm,平行脉壁分布,少量细粒萤石与钾长石、石英紧密嵌布共生在一起。磁铁矿常见,铁黑色,粒径 0.05~0.5 mm,5%~20%,大多出现于脉壁及两侧,浸染状,紧挨脉体者含量最高,向外逐渐降低,在脉体的两侧形成宽 0.5~5 mm 的暗化边(图 5-A),少量磁铁矿呈自形细粒分散于碱交代脉内(图 5-B)。阳起石分布于脉体两侧,往往显示交代石榴子石、透辉石的特点,形成时间较晚。

晚阶段碱交代脉中含有丰富的成矿物质,除萤石外,白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、锡石等主要赋存于晚期碱交代脉中,部分赋存于碱交代脉两侧的石榴子石矽卡岩中。白钨矿细粒,0.1~1 mm,乳白色或乳白色略带灰色,表面较粗糙,半透明,油脂光泽,自形到半自形,含量 1%~5%,与钾长石、萤石共生,交代石榴子石;辉钼矿、辉铋矿、自然铋往往紧密共生,往往沿碱交代脉中的细脉束分布,呈条带状、细粒浸染状分布于萤石、石英和钾长石粒间,少量分布于脉体两侧的矽卡岩中,交代石榴子石,与阳起石共生。

### 2.2.3 碱交代脉中长石成分分析

待测样品中长石的化学成分利用核工业北京地质研究所的 JXA-8100 电子探针分析仪电子探针进行测试。定量分析的电子探针工作条件为:加速电压 20 kV,束流  $1 \times 10^{-8}$  A,出射角  $40^\circ$ ,分析方式为波谱分析,修正方式为 ZAF,定量分析的标样为美国国家标准局的矿物标样。碱交代脉中的长石的电子探

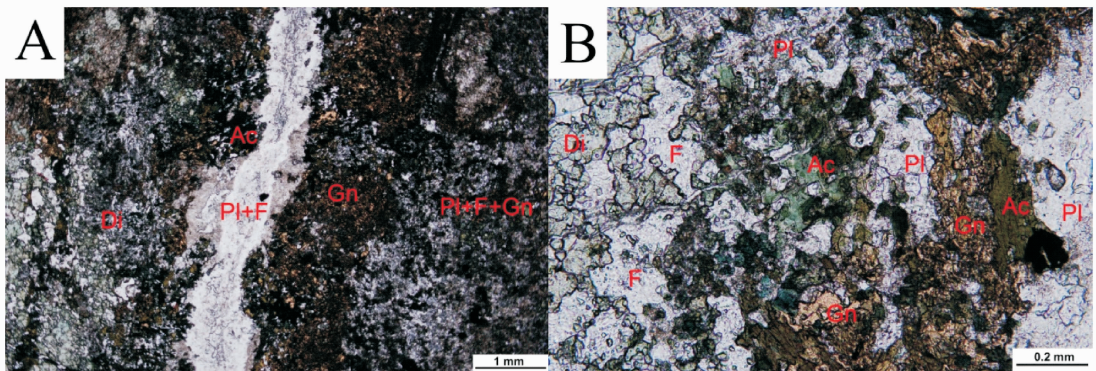


图 5 早阶段碱交代脉显微镜下照片

A—脉体中央以浅色斜长石、萤石为主,斜长石他形局部蚀变成白云母(SZB43 单偏透射光下);B—矿物组合复杂,浅色斜长石与石榴子石、阳起石、萤石等共生分布(SZB43 单偏透射光下)

Fig.5 Photomicrographs of early alkali metasomatic veins

A—Vein body center composed of light colored plagioclase, fluorite and some plagioclase altered into mica (SZB43); B—Complex mineral association, composed of light colored plagioclase garnet, actinolite, fluorite (SZB43)

针分析结果以 8 个氧原子为基础计算得出有关参数一并列于表 1。

由表 1 可以看出,柿竹园碱交代脉大部分长石为钾长石,其  $Q_r$  分子含量 91.70%~96.51%,Ab 分子含量为 3.31%~7.99%,主要为正长石、微斜长石,在早阶段和晚阶段碱交代脉均发育有较多此类长石;只有一个碱交代脉样品(SZB43)含有斜长石,该样品取自 470 中段网脉状矽卡岩化大理岩中,其 An

分子含量 52.88%~72.36%,Ab 分子 27.43%~46.59%,以拉长石为主,偏基性,推测该类斜长石形成时有较多的钙质组分进入成矿系统,应在较早期形成,仅发育于早阶段碱交代脉中。

2.2.4 碱交代脉的演化

早阶段碱交代脉与晚阶段碱交代脉差异性较明显,早阶段脉体中常含有花岗岩质成分,甚至花岗岩岩石为主体;晚阶段脉体则以钾长石-石英-萤石矿

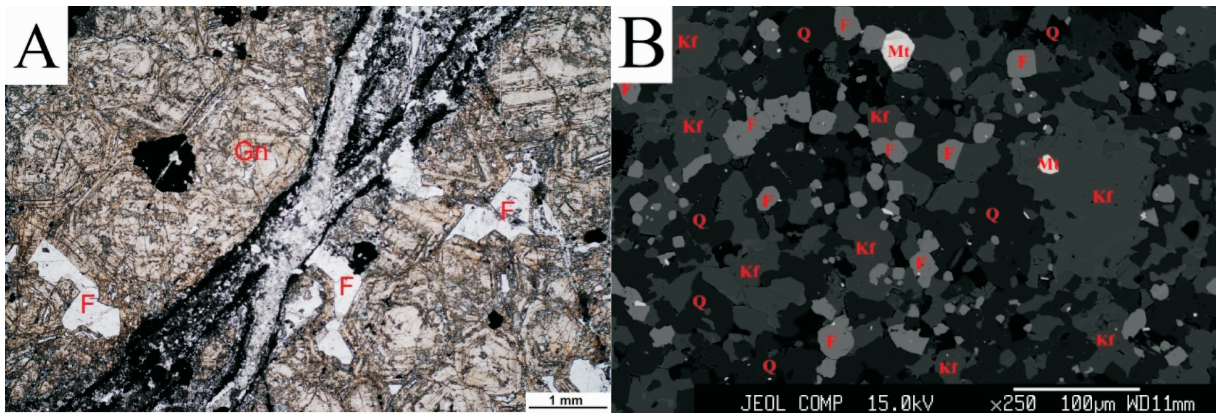


图 6 晚阶段碱交代脉显微镜下照片

A—脉体由内向外依此为:钾长石、萤石、石英-磁铁矿、白钨矿-石榴子石、萤石,外部的石榴子石环带结构明显(SZB03 单偏透射光下);B—脉体中粒状磁铁矿与长石、萤石等共生分布(SZB03 电子探针照片)

Fig.6 Photomicrographs of late alkali metasomatic veins

A—Vein body in outward order of K-feldspar, fluorite, quartz-magnetite, tungsten-garnet, fluorite, the garnet having obvious zonal structure (SZB03); B—Vein body composed of fine grained magnetite, feldspar, fluorite (SZB03)

表 1 柿竹园矿床碱交代脉中长石电子探针分析结果/%

Table 1 EPA data of alkali metasomatic veins in the Shizhuyuan deposit/%

No.	标本号	所测矿物	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	总量	Ab	An	Or
1	SZB31	钾长石	0.68	65.02	0.00	15.83	0.00	18.27	0.00	0.00	0.00	99.80	5.32	0.00	94.68
2	SZB31	钾长石	0.45	63.64	0.00	16.30	0.00	18.39	0.00	0.03	0.03	98.84	3.49	0.00	96.51
3	SZB31	钾长石	1.02	64.25	0.06	15.31	0.00	18.52	0.02	0.05	0.00	99.23	7.99	0.30	91.70
4	SZB31	钾长石	1.27	64.59	0.04	15.19	0.00	18.38	0.02	0.03	0.00	99.52	9.84	0.20	89.96
5	SZB03	钾长石	0.46	63.71	0.10	17.44	0.03	18.21	0.00	0.38	0.00	100.32	3.31	0.46	96.23
6	SZB03	钾长石	0.66	63.79	0.15	16.92	0.43	17.93	0.02	0.70	0.04	100.64	4.80	0.72	94.48
7	SZB03	钾长石	0.49	65.35	0.10	16.30	0.00	17.70	0.00	0.11	0.00	100.04	3.77	0.48	95.74
8	SZB03	钾长石	0.70	65.16	0.09	15.84	0.00	17.63	0.00	0.16	0.00	99.58	5.46	0.43	94.11
9	SZB03	钾长石	0.90	64.99	0.12	15.84	0.00	17.74	0.02	0.18	0.00	99.79	6.88	0.58	92.54
10	SZB43-2	钾长石	0.81	64.17	0.04	16.13	0.00	18.31	0.00	0.00	0.00	99.45	6.16	0.19	93.65
11	SZB43-2	钾长石	0.76	63.60	0.10	17.79	0.00	18.14	0.00	0.05	0.00	100.44	5.26	0.44	94.31
12	SZB43-2	拉长石	6.91	52.77	12.23	0.10	0.02	28.87	0.00	0.14	0.00	101.05	46.59	52.88	0.53
13	SZB43-2	拉长石	6.57	52.11	12.53	0.07	0.00	28.84	0.00	0.13	0.03	100.28	44.79	54.84	0.37
14	SZB43-2	培长石	3.88	47.76	15.96	0.04	0.00	31.69	0.00	0.14	0.00	99.48	27.43	72.36	0.21

注:含量单位%;Ab—钠长石;An—钙长石;Or—钾长石。

化脉为主。

晚阶段碱交代脉的演化又可以分成多个不同世代:早世代富含钾长石和石英,脉两侧有时出现少量阳起石,含少量浸染状磁铁矿和少量白钨矿。中世代钾长石含量逐渐降低,萤石增多,出现大量的磁铁矿、白钨矿为特点。晚世代,钾长石含量较少,脉体中出现大量的石英、萤石,常见细粒白云母、方解石,脉体边部及脉两侧出现大量的粒状分布的磁铁矿,形成暗化边,长石、石英粒度更细,粒径 $<0.1\text{ mm}$ ,伴随出现大量的辉钼矿、辉铋矿、自然铋以及锡石。

### 3 讨论

所谓云英岩主要是指花岗岩类岩石(包括花岗岩、花岗质脉岩、脉状长石岩)在岩浆期后热液作用下,形成由石英、白云母以及黄玉等组成的蚀变岩石<sup>[3]</sup>,云英岩化为石英脉型黑钨矿矿床主要的围岩蚀变。典型云英岩除白云母和石英外,蚀变矿物还有电气石、黄玉、绿柱石等,黄铁矿、毒砂、黑钨矿、钨矿、辉钼矿等。

柿竹园钨锡多金属矿床矽卡岩中发育有大量不同类型的脉体,性质复杂,野外产出形态、矿物共生分布等都具有各自不同的特点,大多与矿化密切相关,其各项特征对比如表2所述。

柿竹园钨锡多金属矿床矽卡岩中碱交代脉大部分脉体均以钾长石、斜长石、石英、萤石为主,白云母含量较少,一般小于3%,黄玉、电气石等矿物含量极少,几乎不含,从矿物共生组合分布特点上分析,并非前人所称的“云英岩脉”或“云英岩网脉”。

矽卡岩的形成是一个长期复杂的过程,其形成

条件和成矿环境也是多种多样的,它是在较长时间和较大温度变化范围内,在含矿气液作用下形成的,具有明显的多期多阶段特征。柿竹园矿床矽卡岩演化过程大体经历了3个阶段:矽卡岩阶段、退变质阶段和硫化物阶段。

(1) 矽卡岩阶段:形成规模块状矽卡岩。最早的矽卡岩发生于大理岩中,沿碱交代脉两侧出现石榴子石、透辉石化等,形成网脉状矽卡岩化大理岩,随着矽卡岩化的深入,大理岩全部被石榴子石化,逐渐形成块状矽卡岩,早阶段形成的碱交代脉部分进一步发展,或被交代呈残留状。本阶段的主要矿物组合为石榴子石、透辉石、硅灰石、符山石、萤石等,大部分的矽卡岩矿物以石榴子石为主,但不同部位组合有所差异。与矽卡岩化共生的碱交代脉,脉体较平直,脉中常见矿物包括钾长石、石英、萤石,少量黑钨矿以及后期交代黑钨矿形成的白钨矿。

(2) 退变质阶段:退变质阶段形成矽卡岩中广泛分布各种钾长石-萤石-石英脉,这类脉体中往往含有大量的白钨矿、自然铋及钼铋硫化物,是柿竹园矿床钨钼矿化的主要载体。退变质阶段演化时间较长,早世代脉体中以钾长石、含水硅酸盐为主,之后逐渐出现石英、磁铁矿、白钨矿,晚世代出现大规模萤石、石英、白钨矿、磁铁矿、辉钼矿等,主要矿物组合为钾长石、萤石、符山石、绿帘石、阳起石、透闪石、石英、磁铁矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、自然铋、锡石等。

退变质阶段与矽卡岩阶段的演化存在重叠,退变质阶段最主要发育的钾长石-萤石-含水硅酸盐矿物脉与早期出现的碱性长石脉相似,但脉体更不规则,脉中更加富集萤石、磁铁矿以及辉钼矿、辉铋

表2 柿竹园矽卡岩中各类脉体特征对比

Table 2 Comparison of all kinds of veins in skarn, Shuzhuyuan

各类特征	碱交代脉		云英岩脉	酸性岩浆岩脉
	早阶段碱交代脉	晚阶段碱交代脉		
产状	穿插矽卡岩或者矽卡岩化大理岩	穿插矽卡岩	穿插矽卡岩	穿插矽卡岩
形态	较平直	弯曲	较规则脉,主体NE向	平直,与矽卡岩界限截然
结构构造	花岗结构	热液交代结构,同细脉构成	伴随花岗岩脉	花岗结构
矿物组合	斜长石、萤石、石英、黑钨、毒砂	钾长石、萤石、石英、磁铁矿、白钨矿,少量阳起石、白云母	钠长石、石英、白云母、黄玉、黑钨矿	钠长石、钾长石、石英、少量白云母、萤石
长石类型	钾长石,同时含有较多斜长石	钾长石为主	钠长石(残留有岩浆期钾长石)	钠长石、钾长石
钨矿化	黑钨矿	白钨矿	黑钨矿(部分白钨矿化)	无矿化
围岩蚀变	石榴子石、透辉石,形成矽卡岩	阳起石、磁铁矿,交代矽卡岩	较弱,基本无蚀变	硅化、云英岩化



矿、自然铋等矿物。

(3) 硫化物阶段:包括矽卡岩中分布的各类硫化物,如浸染状钼、铋硫化物,脉状或不规则囊状铅锌矿,也包括矽卡岩矿床外围分布的铅锌矿。最主要的硫化物是黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿以及闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等,少量硫化物包括黝铜矿、黝锡矿、银黝铜矿、硫砷铅矿、辉银矿、淡红银矿。另外,矽卡岩晚期还发育一些镜铁矿。主要脉石矿物为方解石、萤石、石英,少量绢云母。

硫化物阶段与退变质阶段形成的脉体或蚀变也存在明显的重叠,在退变质阶段中晚期,碱性长石-萤石-磁铁矿脉中往往出现大量的辉钼矿、辉铋矿等,也构成钼、铋矿化的主要成矿期,同时常伴随有一些毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿等。

柿竹园矽卡岩中碱交代脉的脉体外侧发育较多的石榴子石、透辉石等矽卡岩类矿物,脉体及其两侧含有较多的白钨矿、磁铁矿等氧化物,说明该类脉体的形成与矽卡岩演化密切相关。此外,碱交代脉脉体中碱质成分含量较高,发生了较强的碱交代作用。

根据脉体中矿物共生组合及矿化特点,进一步划分为早阶段碱交代脉和晚阶段碱交代脉,两种类型的碱交代脉分别对应矽卡岩演化的矽卡岩阶段和退变质阶段,代表了矽卡岩成矿作用强烈的碱交代作用过程。

早阶段碱交代,脉中斜长石含量较高,出现黑钨矿,而脉两侧含有较多的石榴子石、阳起石等矽卡岩矿物,均显示出演化早期的特点,代表了矽卡岩阶段硅酸盐矿物的形成,大体对应一般矽卡岩演化阶段过程划分的石榴子石-透辉石矽卡岩阶段。

晚阶段碱交代脉的演化又可以分为不同的世代:早世代的表性矿物是钾长石,其后是石英、萤石、磁铁矿、白钨矿;晚世代代表性矿物是各种高温硫化物,辉钼矿、辉铋矿等。在矿物组合、成矿流体性质、物理化学环境等方面均显示出一个快速突变的阶段,也是引起大量硫化物富集的重要因素,尤其是早阶段硫化物如辉钼矿、辉铋矿以及白钨矿、锡石、自然铋等。此阶段的碱交代作用代表了硅酸盐阶段向硫化物阶段的一个重要转折,大体对应一般矽卡岩演化阶段过程划分的矽卡岩退变质阶段或以往所称的湿矽卡岩阶段以及氧化物阶段。

在南岭矽卡岩型钨锡多金属矿床中均不同程度地发育这一阶段的脉体,包括黄沙坪、瑶岗仙、新田

岭等矿床均常见,只是脉体的规模(宽度)、数量不及柿竹园而已。

## 4 结论

综上所述,可以得出以下结论

(1) 柿竹园钨锡多金属矿床中矽卡岩中广泛发育各种不同类型的脉体,主要包括酸性岩浆岩脉、云英岩脉、碱交代脉3种,其中碱交代脉规模最大,与成矿关系最密切。

(2) 从矿物组合上分析,碱交代脉中主要以钾长石、斜长石、石英、萤石为主,白云母含量较少,一般小于3%,黄玉、电气石等矿物含量极少,几乎不含,并非前人所称的“云英岩脉”或“云英岩网脉”。

(3) 碱交代脉可以分为早阶段碱交代脉和晚阶段碱交代脉两种,分别对应矽卡岩演化两个阶段:早阶段碱交代作用对应矽卡岩阶段,是黑钨矿的主要赋存方式,脉体两侧形成大量硅酸盐矿物;晚阶段碱交代作用对应退变质矽卡岩阶段,两侧发育磁铁矿、萤石、阳起石等,交代石榴子石、透辉石、同时形成大量的白钨矿、辉钼矿、辉铋矿等,代表了硅酸盐阶段的结束。

(4) 碱交代脉制约和影响矽卡岩的演化和成矿,贯穿矽卡岩演化的矽卡岩阶段和退变质阶段,早阶段碱交代是黑钨矿的主要成矿期,晚阶段碱交代作用则是白钨矿的主要成矿期。

(5) 从成因上分析,柿竹园矿床中由碱交代脉形成的矿体应属于矽卡岩型的矿体。

**致谢:**野外工作中得到了湖南有色集团柿竹园公司地测科李岩林工程师、王勇工程师的大量帮助,北京核工业地质研究院分析测试中心的葛翔坤工程师,于阿朋工程师在电子探针测试分析数据处理工作中提供了指导,在此一并向他们表示感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 王昌烈,罗仕徽,胥有志,等.柿竹园钨多金属矿床地质[M].北京:地质出版社,1987:116-141.  
Wang Changlie, Luo Shihui, Xu Youzhi, et al. Geology of the Shizhuyuan tungsten polymetallic deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:116-141 (in Chinese with English abstract).
- [2] 赵一鸣,林文蔚,毕承思,等.中国矽卡岩矿床[M].北京:地质出版社,1990:224-229.  
Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, et al. Skarn Deposits of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 104-130

- (in Chinese with English abstract).
- [3] 刘义茂, 王昌烈, 胥友志, 等. 柿竹园超大型钨矿床的成矿作用与成矿条件[J]. 湖南地质, 1995, 14(4):212-219.  
Liu Yimao, Wang Changlie, Xu Youzhi, et al. Metallization and metallogenetic conditions of shizhuyuan ultra-large tungsten deposit[J]. Hunan Geology, 1995, 14(4):212-219 (in Chinese with English abstract).
- [4] 毛景文, 李红艳, 宋学信. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1998:136-179.  
Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin. Geology and Geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi Polymetallic Deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:136-179 (in Chinese with English abstract).
- [5] 毛景文, 李红艳. 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, 1996, 15(1):1-15.  
Mao Jingwen, Li Hongyan. Geology and metallogeny of the shizhuyuan skarn-greisen W-Wn-Mo-Bi deposit, Hunan [J]. Mineral Deposits, 1996, 15 (1):1-15 (in Chinese with English abstract).
- [6] 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系[J]. 矿床地质, 1995, 14(1):12-25.
- [7] 刘阳生, 黄革非, 邝田顺, 等. 初论湘南地区中酸性花岗岩类与有色金属矿产的关系[J]. 华南地质与矿产, 2003(3):37-42.  
Liu Yangsheng, Huang Gefei, Kuang Tianshun, et al. Discussion on intermediate-acid granitoids and non-ferrous metallic mineralization in southern Hunan Province [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2003(3):37-42(in Chinese with English abstract).
- [8] 於崇文, 岑况, 龚庆杰, 等. 湖南郴州柿竹园超大型钨多金属矿床的成矿复杂性研究[J]. 地学前缘, 2003, 10(3):15-39.  
Yu Chongwen, Cen Kuang, Gong Qingjie, et al. Research on the complexity of ore formation for the super-large tungsten-poly metallic ore deposit of shizhuyuan, hunan province[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3):15-39 (in Chinese with English abstract).
- [9] 邓松华, 徐惠长, 刘阳生, 等. 湖南千里山-骑田岭矿集区大地构造环境与矿物组合的关系[J]. 华南地质与矿产, 2003(4):51-55.  
Den Songhua, Xu Huichang, Liu Yangsheng, et al. Relationship between tectonic setting and mineral assemblages [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2003 (4): 51-55 (in Chinese with English abstract).
- [10] 毛景文. 超大型钨多金属矿床成矿特殊性——以湖南柿竹园矿床为例[J]. 地质科学, 1997, 22(3):351-363.  
Mao Jingwen. Metallogenic speciality of super giant, polymetallic tungsten deposit taking the shizhuyuan deposit as an example [J]. Scientia Geologica Sinica, 1997, 22(3):351-363 (in Chinese with English abstract).
- [11] 赵劲松, R. J. Newberry. 对柿竹园矽卡岩成因及其成矿作用的新认识[J]. 矿物学报, 1996, 16(4):442-449.  
Zhao Jinsong, R. J. Newberry. Novel knowledge on the origin and mineralization of skarns from shizhuyuan [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1996, 16(4):442-449(in Chinese with English abstract).
- [12] 陈骏. 柿竹园钨锡矽卡岩矿床中成矿流体不连续演化现象[J]. 南京大学学报, 1993, 29(3):439-447.  
Chen Jun. Discontinuous evolution of the shizhuyuan w, mo, bi and sn skarn system in south china fluid inclusion studies[J]. Journal of Nan jing University (Natural Sciences Edition), 1993, 29(3): 439-447(in Chinese with English abstract).
- [13] 朱上庆, 翟裕生. 矿床学[M]. 北京:地质出版社, 1984:104-130.  
Zhu Shangqing, Zhai Yusheng. Economic Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984:104-130 (in Chinese with English abstract).

## Research on the alkali metasomatic veins in skarn of the Shizhuyuan W–Sn polymetallic deposit

CHENG Xi-yin<sup>1,2</sup>, ZHU Xinyou<sup>2</sup>, WANG Yan-li<sup>2</sup>, LI Shun-ting<sup>2</sup>, HAN Ying<sup>1</sup>

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

**Abstract:** The Shizhuyuan W–Sn polymetallic deposit in the middle of Nanling region is a superlarge W–Sn–Mo–Bi polymetallic deposit rarely seen in the world, characterized by multi-mineral resources, large size and rich associated components. It has numerous veins of different types, composed mainly of acid magmatic dikes, greisen veins and alkali metasomatic veins in the skarns, with the alkali metasomatic veins comprising the largest and most widely distributed ore bodies. Based on detailed field investigation, microscopic petrographic analysis and EPA analysis, the authors found that the main minerals in the veins are potassium feldspar, plagioclase, quartz and fluorite, the muscovite content is small (<3%), and topaz, tourmaline content is rare. They hence do not belong to the “greisen veins” or “greisen stockwork”. The vein body has extensively developed some skarn minerals, and the vein body and its both sides contain more tungsten and magnetite. On the whole, the alkali composition in the alkali metasomatic vein is relatively high, and has experienced strong alkali metasomatism. The vein bodies can be divided into two types, i.e., the early alkali metasomatic vein and the late alkali metasomatic vein. The early alkali metasomatic vein contains more plagioclase and wolframite, which is the main ore-forming period of the wolframite in accord with the evolution of the skarn. The late alkali metasomatic vein contains more potassium feldspar, tungsten and magnetite, which is the main ore-forming period of the scheelite in accord with degradation metamorphic stage. The authors thus hold that the alkali metasomatic veins in skarn of the Shizhuyuan ore district restricted and affected the formation of skarns and the ore-forming process, and their evolution passed through the skarn stage and the degradation metamorphic stage. The alkali metasomatic veins belong to the skarn type ore bodies.

**Key words:** Shizhuyuan; W–Sn polymetallic deposit; evolution of skarns; alkali metasomatic vein

---

**About the first author:** CHENG Xi-yin, female, born in 1986, master candidate, engages in mineral resource prospecting and exploration; E-mail: chengxiyin36@126.com.

**About the corresponding author:** ZHU Xin-you, male, born in 1965, senior engineer, engages in deposit geochemistry; E-mail: zhuxinyou@tom.com.