

文章编号: 0254-5357(2011)03-0269-07

滇东南南秧田白钨矿矿床矽卡岩矿物学特征及成因探讨

戴 婕¹, 张林奎¹, 潘晓东², 石洪召¹, 陈敏华¹, 王 鹏¹, 张斌辉¹, 张 茜¹, 金 斌¹, 任 静¹
(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 四川里伍铜业股份有限公司, 四川 甘孜 626200)

摘要: 南秧田白钨矿矿床是我国西南地区一个罕见的超大型白钨矿矿床, 矿体赋存在矽卡岩中, 呈层状产出。层状矽卡岩矿物为辉石、石榴子石及少量符山石, 退化蚀变矿物为绿帘石、绿泥石、透闪石、阳起石、磷灰石等。电子探针分析结果表明, 矽卡岩矿物中的单斜辉石以次透辉石、似次透辉石、普通辉石为主, 其次为低铁次透辉石, 含极少量的透辉石; 石榴子石端元组分以钙铝榴石为主, 伴少量铁铝榴石和镁铝榴石; 角闪石族矿物属单斜角闪石中的透闪石-阳起石类质同像系列。在矽卡岩中还有与电气石、红帘石等变质矿物。典型矿床对比研究表明, 该矿床中矽卡岩的成分特征与传统岩浆交代钙质岩石形成的矽卡岩有明显差别, 与澳大利亚 Broken Hill Eittlewood 热水沉积的钙硅酸盐的特征十分相似, 暗示成矿作用可能与本区中-新元古代裂谷环境下的热泉活动相关。

关键词: 南秧田; 白钨矿矿床; 矽卡岩; 矿物学特征; 成因

Mineralogical Characteristics and Genesis Discussion of Skarn in Nanyangtian Sheelite Deposit of Southeastern Yunnan

DAI Jie¹, ZHANG Lin-kui¹, PAN Xiao-dong², SHI Hong-zhao¹, CHEN Min-hua¹,
WANG Peng¹, ZHANG Bin-hui¹, ZHANG Qian¹, JIN Bin¹, REN Jin¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China;
2. Sichuan Liwu Copper Mining Co., Ltd, Ganzi 626200, China)

Abstract: Nanyangtian sheelite deposit is a rare giant sheelite deposit in southwestern China. The stratiform ore body was hosted in skarn. The main Skarn minerals are pyroxene, garnet and minor vesuvianite. The altered minerals are chlorite, hornblende, epidote, actinolite, apatite etc. The result of chemical composition obtained by electron probe analysis demonstrated that clinopyroxene is composed of (1) major sahlite, sahlite-alike and augite, minor ferrosalite and tiny diopside, (2) garnet majorly consists of grossularite, minor almandine and pyrope, (3) hornblende is tremolite-actinolite isomorphic series. Some metamorphic minerals, such as tourmaline and piemontite, also occur in skarn rock. Compared with typical sheelite deposits, it is demonstrated that the composition of skarn in Nanyangtian sheelite deposit is obviously different from traditional magmatic metasomatism skarn, but is very similar to that of Broken Hill Eittlewood sheelite deposit of Astrinia which derived from calc-silicate rocks precipitated in hot water. It is indicated that the mineralization of Nanyangtian sheelite deposit possibly is related to the hot spring from mesoproterozoic and neoproterozoic rift valley.

Key words: Nanyangtian sheelite deposit; skarn; mineralogical features; genesis

收稿日期: 2010-06-18; 修订日期: 2011-01-11

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目资助(1212010880402); 中国地质调查局科研项目资助(1212010911065)

作者简介: 戴婕, 助理工程师, 硕士, 主要从事岩石和矿物研究。E-mail: daijiegirl@163.com。

矽卡岩型白钨矿矿床,是日前世界上最重要的钨矿类型^[1],其储量约占世代总储量的1/2,开采量约占开采总量的1/4以上,矿石储量较集中,易形成较大型矿区^[2],如加拿大的唐斯顿(Tungsten)钨矿床、韩国的山塘(Sangdong)钨矿床^[3]、湖南瑶岗仙钨矿床^[4]、湖南新田岭白钨矿床^[5]、江西修水香炉山白钨矿床^[6]。因此,矽卡岩型白钨矿矿床的研究一直是地质学者的研究重点。南秧田白钨矿矿床是我国西南地区一个罕见的超大型白钨矿矿床,矿体赋存于层状矽卡岩中,呈层状、似层状产出。由于该矿床地处中越边境,受越战的影响,矿床研究程度较低,前人仅对矿区矿物组合和地质地球化学特征方面进行了一定探讨。本文在详细的野外观察基础上,拟通过显微镜分析、电子探针分析等方法,对南秧田钨矿床中的矽卡岩进行矿物特征的系统研究,进而探讨矽卡岩及矿床的成因,以期对矿床成因认识及指导区域找矿提供参考资料。

1 矿区地质概况

南秧田白钨矿矿床位于文山州麻栗坡县南秧田一带,是近年来成都地质调查中心与紫金矿业集团西南矿业公司在该地区进行整装勘查以来发现的一超大型白钨矿床^[7]。

矿床位于我国南岭钨锡成矿带的西延地段,地处滨太平洋与特提斯-喜马拉雅两大构造域的构造复合部位,为我国著名的滇东南钨锡成矿区的又一典型钨矿床^[8]。矿区位于南温河变质岩穹隆体核部,赋矿地层为元古代猛洞岩群南秧田岩组,呈残留体赋存于志留纪片麻状细粒花岗岩中,主要岩性为云母石英片岩、斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、矽卡岩、变粒岩,含2~3层钙硅酸岩。矿区构造主体上表现为南秧田滑覆构造和沟秧河背斜。南秧田滑覆断层构造位于南秧田、河边一带,总体走向北东,倾向南东,倾角 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。沟秧河背斜在区内出露长约1.7 km,轴向NE 10° 。区内岩浆活动强烈,晚期老君山花岗岩位于南秧田矿区的西侧,对成矿具有明显叠加富集作用。南秧田矿床主要由I、II号矿体组成,均分布在矽卡岩层中。矿体形态简单,与围岩呈整合接触、呈层状、似层状产出,主产状大部分与地层产状一致。I号矿体,南北长1400 m,倾向延伸最长1280 m,平均厚度2.32 m,最大厚度4.5 m。II号矿体南北长约1680 m,东西宽2380 m^[9]。矿石构造为条带状构造、细脉状构造、浸染状构造、团块状构造、星点状构造。矿石结构为自形晶结构、半自形-它形粒状结构、充填结构、包含结构

等。围岩蚀变有矽卡岩化、硅化、碳酸盐化、绿帘石、绿泥石化、电气石化。

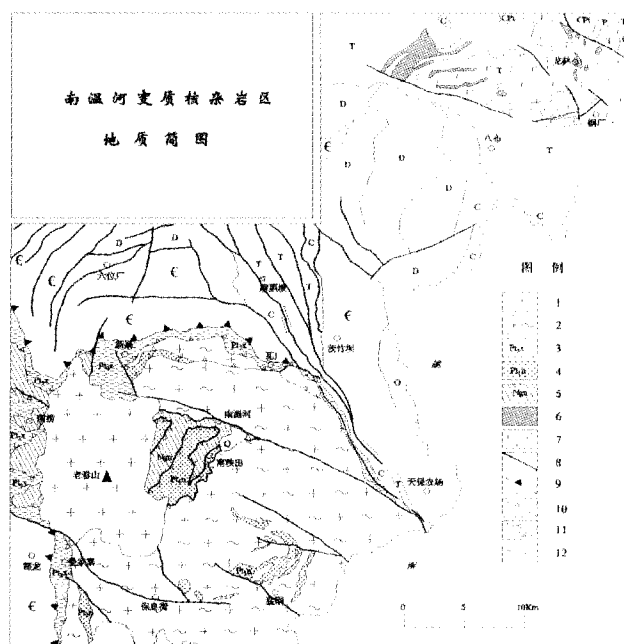


图1 南秧田矿区地质简图^[9]

Fig. 1 Simple geological map of the Nanyangtian sheelite deposit
1—燕山期花岗岩; 2—晚志留世花岗岩; 3—新寨岩组; 4—南秧田岩组; 5—南秧田片麻岩; 6—超基性岩; 7—变质基性火山岩; 8—断层; 9—基底剥离断层; 10—韧性剥离断层; 11—走滑断层; 12—国界。

与钨矿化的矽卡岩常呈带状分布,如加利福尼亚Sierra Nevada Strawberry矿区^[10]、Tasmania Monia 矽卡岩型矿床^[11]和湖南柿竹园矿床^[12];但南秧田矿区与钨矿化相关的矽卡岩不具有明显的分带性^[13],矽卡岩呈层状、似层状或透镜状顺层产出,与上下岩层层理一致,并可与之同步褶皱,空间分布广泛,且具面型分布的特点。

2 矽卡岩化阶段及矿物学特征

矽卡岩的形成分为早期和晚期阶段,各阶段形成的矽卡岩的矿物特征如下。

(1) 早矽卡岩阶段

该阶段主要形成辉石、石榴子石、符山石等岛状和链状的无水硅酸盐矿物^[14]。辉石为浅灰绿色,呈半自形-它形晶粒,粒度不均匀,辉石呈短柱状、长柱状、柱粒状、针状、不规则状,与石榴子石、角闪石等矿物镶嵌接触。辉石粗粒粒径最大达5 mm,大多数粒径在1~2 mm。在辉石内部常富含极细粒的石英长石嵌晶,

形成交代残余结构、筛状结构。石榴子石为浅肉红色,呈集合体状,颗粒较大。在薄片下观察,石榴子石粒度变化大,呈不等粒状连晶分布,组成岩石中的主要矿物。石榴石的边部退蚀变成绿帘石、绿泥石。部分石榴子石显示环带结构,在正交偏光镜下呈现一级灰和一级深灰的干涉色和弱非均质性,说明该石榴子石为钙质石榴子石,反映了石榴子石形成时的物理化学条件的改变和石榴子石形成经历了较长的时间^[15]。在石榴子石颗粒之间或石榴子石的裂隙内部往往有自形晶的白钨矿分布(图2)。从能谱图可以看出石榴子石为钙铝榴石(图3)。符山石在南秧田矽卡岩中少见,一般为局部富集,被绿帘石沿裂理、裂纹和粒间蚀变交代。

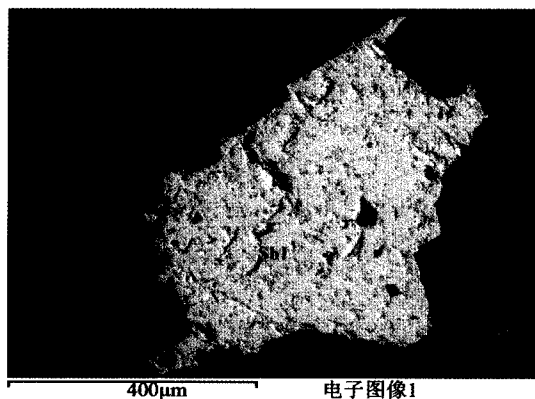


图2 样品编号为D1622B₆石榴子石(谱图4位置Grt)中的白钨矿(Shl)

Fig.2 Sheelite (Shl) distributed in D1622B₆ garnet (spectrogram 4 Grt)

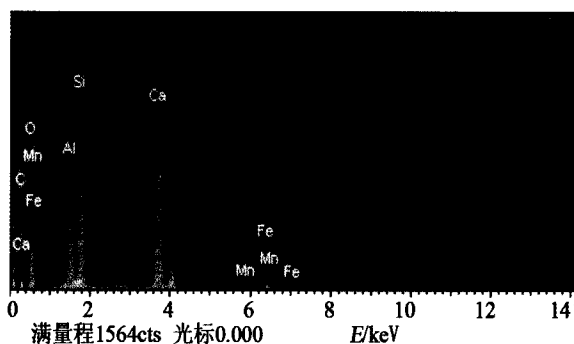


图3 样品编号为D1622B₆石榴子石的能谱图(谱图4位置)

Fig.3 Energy spectrum of D1622B₆ garnet (spectrogram 4)

(2) 晚矽卡岩阶段

该阶段又称为湿矽卡岩阶段,主要生成绿帘石、角闪石、绿泥石等带状和复杂链状构造的含水硅酸盐

矿物,对早期矽卡岩阶段的矿物有明显的交代作用。绿帘石晶体常呈自形-它形粒状、不等粒状集合体嵌布于辉石、石榴子石、石英中,或叠加在石榴子石、辉石矿物之上。部分绿帘石沿石榴子石、辉石、符山石的边部和内部交代(图4),形成交代反应边结构、交代残余结构。绿泥石为深绿色。角闪石族矿物主要为阳起石,其次有透闪石、纤闪石。透闪石呈纤状、纤维状集合体交代辉石。纤闪石在符山石的粒间充填。



图4 沿裂隙和边部交代符山石

Fig.4 Vesuvianite is replaced by Epidote around it's fissure and margin

3 电子探针分析

根据矽卡岩的岩性和矿物组合(表1),从代表性的矽卡岩样品中挑选辉石、石榴子石、角闪石、绿帘石、电气石等矿物,在国土资源部西南测试监督监测中心进行电子探针分析。电子探针分析仪型号为EPMA-1600,测试加速电压为2.5 kV,束电流4.5 nA,束斑直径1 μm。

南秧田钨矿床8件矽卡岩中辉石的电子探针成分分析结果见表2,氧以6为基准计算^[16]的阳离子数见表3。辉石的端元组分见表4,硅灰石的组分变化在0.209~0.484,顽辉石组分变化在0.265~0.484,铁辉石组分变化在0.136~0.456。据单斜辉石中Ca-Mg-Fe组合的分类和命名标准^[17],南秧田钨矿床中的单斜辉石以次透辉石、似次透辉石为主,其次为低铁次透辉石、普通辉石,含极少量的透辉石、易变普通辉石(图5)。与典型岩浆成因的新田岭钨矿床的辉石成分有明显的差别,新田岭钨矿床中的辉石主要为次透辉石,含少量低铁次透辉石(图6)^[18]。

表 1 砂卡岩的岩性及矿物组合

Table 1 Lithological characteristics and mineral association of skarn

样品编号	岩性	采样位置	砂卡岩矿物组合特征
D1622B ₄	透辉石、透闪石砂卡岩	Y=465138, X=2541571, H=1218, 南秧田 1232 平洞	石榴子石+透辉石+绿帘石
D1622B ₅	绿帘石化含石榴子石、透辉石砂卡岩	Y=465138, X=2541571, H=1218, 南秧田 1232 平洞	透辉石+石榴子石+绿帘石
D1622B ₆	含透辉石、石榴子石砂卡岩	Y=465138, X=2541571, H=1218, 南秧田 1232 平洞	石榴子石+透辉石
D1622B ₇	绿帘石化、石榴子石砂卡岩	Y=465138, X=2541571, H=1218, 南秧田 1232 平洞	绿帘石+石榴子石
D2117B ₄	绿帘石化、石榴子石砂卡岩	南秧田 1158 平洞	绿帘石+石榴子石
D2117B ₆	透闪石、绿帘石化透辉石砂卡岩	南秧田 1158 平洞	透辉石+绿帘石+透闪石
D2117B ₁₁	白钨矿化砂卡岩	南秧田 1158 平洞	石榴子石+透辉石
M202-B ₆	绿帘石化符山石砂卡岩	南秧田矿区	绿帘石+符山石

表 2 南秧田钨矿床辉石电子探针化学成分分析^①

Table 2 Analytical results of chemical composition in pyroxene of Nanyangtian sheelite deposit by electron probe w_B/%

组分	D1622B 4-2-2	D1622B 5-1-1	D1622B 5-3-1	D1622B 5-1-10	D1622B 4-1-20	D1622B 4-1-2	D1622B 5-5-2	D1622B 5-6-1	D1622B 6-2-1	D1622B 6-3-1	D1622B 7-1-2	D2117B 6-1-2	D2117B 4-1-2	D2117B 4-1-1
SiO ₂	50.663	51.140	52.088	53.257	52.098	49.693	53.913	53.716	52.399	53.084	52.136	50.350	48.027	49.592
TiO ₂	0.003	—	—	—	—	—	0.001	—	0.001	0.004	—	0.018	0.027	0.016
Al ₂ O ₃	0.062	0.401	0.450	0.337	0.093	0.363	0.304	0.277	0.160	0.203	1.288	0.147	2.622	0.180
Cr ₂ O ₃	0.015	0.266	—	0.249	0.152	2.032	0.196	0.252	0.373	—	0.297	0.071	0.489	0.250
FeO	12.768	8.884	8.870	8.398	11.969	8.203	8.327	9.305	7.469	9.859	3.585	9.407	19.858	14.377
MnO	2.113	0.168	0.149	0.122	2.351	2.192	0.144	0.170	0.404	0.218	1.585	0.432	0.594	0.689
MgO	8.066	11.728	11.594	12.153	8.278	9.831	11.878	11.207	12.225	10.624	13.194	11.562	8.149	7.729
CaO	21.332	22.154	22.323	21.994	21.834	21.024	22.372	22.020	22.722	22.664	21.802	22.517	10.608	20.899
Na ₂ O	0.042	0.098	0.094	0.148	0.148	0.325	0.097	0.114	0.046	0.034	0.307	0.055	0.350	0.201
K ₂ O	—	0.011	0.003	0.020	0.020	0.010	0.000	0.062	0.004	—	0.001	0	0.239	0.005
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NiO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合计	95.064	94.850	95.571	96.678	96.943	93.673	97.232	97.123	95.803	96.690	94.195	94.559	90.963	93.938

① FeO 为全铁氧化物, 包含 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ 的氧化物; “—” 表示低于检测限(下表同); 电子探针所有数据由国土资源部西南监督检测中心分析测试。

表 3 辉石以氧 6 为基准计算的阳离子数

Table 3 Cation number of pyroxene calculated by 6 oxygen atoms w_B/%

阳离子	D1622B 4-2-2	D1622B 5-1-1	D1622B 5-3-1	D1622B 5-1-10	D1622B 4-1-20	D1622B 4-1-2	D1622B 5-5-2	D1622B 5-6-1	D1622B 6-2-1	D1622B 6-3-1	D1622B 7-1-2	D2117B 6-1-2	D2117B 4-1-2	D2117B 4-1-1
Si ⁴⁺	2.042	2.016	2.032	2.044	2.051	2.006	2.055	2.058	52.399	2.053	2.024	2.005	2.023	2.031
Ti ⁴⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	0.001	—	—	0.001	0.001	0.001
Al ³⁺	—	0.01	0.021	0.015	0.004	0.017	0.014	0.013	0.16	0.009	0.059	0.007	0.130	0.009
Cr ³⁺	—	0.008	—	0.008	0.005	0.065	0.006	0.008	0.373	—	0.009	0.002	0.016	0.008
FeO	0.430	0.293	0.289	0.269	0.394	0.277	0.265	0.298	7.469	0.319	0.116	0.313	0.699	0.492
Mn ²⁺	0.072	0.006	0.005	0.004	0.078	0.075	0.005	0.006	0.404	0.007	0.052	0.015	0.021	0.024
Mg ²⁺	0.485	0.689	0.674	0.695	0.486	0.591	0.675	0.640	12.225	0.613	0.763	0.686	0.512	0.472
Ca ²⁺	0.921	0.936	0.933	0.904	0.923	0.909	0.913	0.904	22.722	0.939	0.907	0.960	0.479	0.917
Na ⁺	0.003	0.008	0.007	0.011	0.011	0.025	0.007	0.009	0.046	0.003	0.023	0.004	0.029	0.016
K ⁺	—	0.0006	0.0001	0.001	0.001	0.001	—	0.003	0.004	—	—	—	0.013	—
P ⁵⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni ²⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合计	3.958	3.974	3.961	3.951	3.956	3.966	3.939	3.938	95.803	3.943	3.954	3.993	3.923	3.967

表 4 南秧田白钨矿床辉石端元组分^①

Table 4 Final composition of pyroxene in Nanyangtian sheelite deposit w_B/%

辉石端元 组分	D1622B 4-2-2	D1622B 5-1-1	D1622B 5-3-1	D1622B 5-1-10	D1622B 4-1-20	D1622B 4-1-2	D1622B 5-5-2	D1622B 5-6-1	D1622B 6-2-1	D1622B 6-3-1	D1622B 7-1-2	D2117B 6-1-2	D2117B 4-1-1	D2117B 4-1-2
Wo	0.461	0.463	0.463	0.449	0.461	0.440	0.454	0.449	0.468	0.468	0.484	0.479	0.265	0.209
En	0.286	0.377	0.376	0.397	0.298	0.381	0.392	0.376	0.396	0.349	0.484	0.358	0.265	0.334
Fs	0.254	0.160	0.161	0.154	0.241	0.178	0.154	0.176	0.136	0.182	0.074	0.163	0.277	0.456

① Wo 为硅灰石; Es 为顽辉石; Fs 为铁辉石; Wo + Es + Fs = 1。

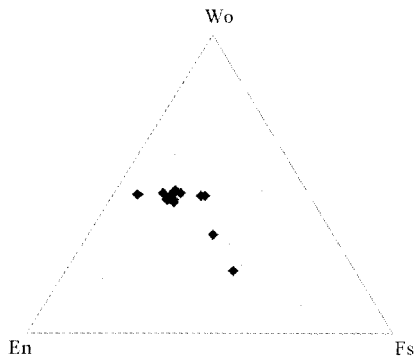


图5 南秧田辉石分类图
Fig.5 Sorting diagram of pyroxene in Nanyangtian Sheelite deposit

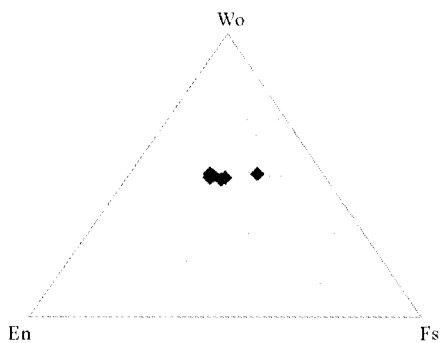


图6 新田岭辉石分类图
Fig.6 Sorting diagram in pyroxene in Xintianling Sheelite deposit

南秧田钨矿床中石榴子石电子探针的成分分析结果见表5,石榴子石以氧8为基准计算的阳离子数见表6,计算出的石榴子石的端元组分见表7。

表5 南秧田钨矿床石榴子石电子探针化学成分分析
Table 5 Analytical results of chemical composition in garnet of Nanyangtian sheelite deposit tested by electron probe analysis

组分	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D2117b	D2117b	D2117b
	5-6-2	6-1-1	6-1-2	6-2-3	6-3-3	6-4-1	11-1-1	11-3-1	11-4-1
SiO ₂	37.571	39.173	38.927	39.219	39.104	39.233	39.650	41.031	40.022
Al ₂ O ₃	17.873	20.231	20.193	20.038	20.242	19.536	20.802	21.145	20.649
TiO ₂	0.672	0.685	0.837	0.593	0.792	0.956	0.426	0.095	0.593
Cr ₂ O ₃	0.085	0.037	0.081	-	0.152	0.080	0.344	0.103	0.330
FeO	3.016	3.863	3.352	3.631	3.351	3.331	2.381	2.676	2.761
MnO	0.418	0.627	0.627	0.631	0.523	0.517	0.105	0.058	0.086
MgO	1.421	0.062	0.08	0.132	0.070	0.085	0.060	0.072	0.078
CaO	32.581	31.185	32.075	31.567	32.120	31.649	33.050	32.986	32.541
Na ₂ O	0.097	0.006	-	0.002	-	-	-	-	0.004
K ₂ O	0.013	-	0.004	-	0.003	0.005	0.011	0.011	0.005
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合计	93.747	95.869	96.176	95.813	96.357	95.392	96.829	98.177	97.069

表6 石榴子石以氧8为基准计算的阳离子数
Table 6 Cation number of garnet calculated by 8 oxygen atoms

阳离子	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D2117b	D2117b	D2117b
	5-6-2	6-1-1	6-1-2	6-2-3	6-3-3	6-4-1	11-1-1	11-3-1	11-4-1
Si ⁴⁺	3.049	3.083	3.059	3.089	3.064	3.101	3.075	3.127	3.094
Ti ⁴⁺	1.709	1.877	1.869	1.860	1.869	1.820	1.902	1.899	1.882
Al ³⁺	0.041	0.041	0.049	0.035	0.047	0.057	0.025	0.005	0.035
Cr ³⁺	0.006	0.002	0.005	-	0.009	0.005	0.021	0.006	0.020
FeO	0.205	0.254	0.220	0.239	0.219	0.220	0.154	0.171	0.179
Mn ²⁺	0.029	0.042	0.042	0.042	0.035	0.035	0.007	0.004	0.006
Mg ²⁺	0.172	0.007	0.009	0.016	0.008	0.010	0.007	0.008	0.009
Ca ²⁺	2.833	2.629	2.700	2.664	2.697	2.681	2.745	2.694	2.696
Na ⁺	0.015	0.001	-	-	-	-	-	-	0.001
K ⁺	0.001	-	-	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001
P ⁵⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合计	8.061	7.937	7.955	7.946	7.949	7.929	7.939	7.915	7.921

表7 南秧田钨矿床石榴子石端元组分①
Tabel 7 Final composition of garnet in Nanyangtian sheelite deposit

石榴子石端元组分	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D1622b	D2117B	D2117B	D2117B
	5-6-2	6-1-1	6-1-2	6-2-3	6-3-3	6-4-1	11-1-1	11-3-1	11-4-1
Pyr	0.0531	0.0025	0.0032	0.0052	0.0028	0.0034	0.0024	0.0028	0.0031
Alm	0.0721	0.1009	0.0882	0.095	0.8597	0.0865	0.0554	0.0606	0.06637
Gro	0.8748	0.8966	0.9087	0.8998	0.9113	0.9101	0.9423	0.9366	0.9331

① Pyr 为镁铝榴石, Alm 为铁铝榴石, Gro 为钙铝榴石; Pyr + Alm + Gro = 1。

如图7所示。端元组分以钙铝榴石为主,其摩尔分数的变化范围为87.48%~94.23%,平均为91.26%,其次是铁铝榴石(5.54%~10.09%),镁铝榴石最少(0.24%~0.531%)。白钨矿的形成往往与钙铝榴石相关^[19]。南秧田白钨矿矿床的石榴子石成分与典型岩浆交代钙质岩石形成的矽卡岩型白钨矿矿床中石榴子石的成分差异较大。如新田岭白钨矿矿床中钙铝榴石摩尔分数平均为63.52%,铁铝榴石为36.36%,镁铝榴石为1.09%^[18]。世代罕见的超大型柿竹园钨锡钼铋矿床中矽卡岩带中钙铝榴石核部的摩尔分数仅为23.849%~35.139%^[20];北祁连加里东造山带的塔尔沟钨矿床中的石榴子石的端元组分钙铝榴石摩尔分数为76.59%~76.39%^[21];湖南瑶岗仙钨矿床石榴子石的端元组分钙铝榴石的含量为77.88%^[18];江西焦里矽卡岩型银铅锌钨矿床中,与钨矿化密切相关的石榴子石端元组分钙铝榴石的摩尔分数为74.3%~86.3%^[22]。南秧田矿床中石榴子石端元组分钙铝榴石的含量与其他类型白钨矿床中的含量也存在差异,如澳大利亚 Broken Hill Ettlewood 热水沉积成因的钙硅酸盐中石榴子石端元组分钙铝榴石的含量范围为90%~97%^[23]。

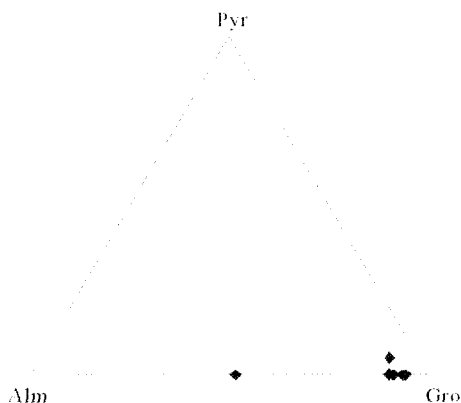


图7 南秧田钨矿床石榴子石分类图

Fig. 7 Sorting diagram of garnet in Nanyangtian sheelite deposit

角闪石在矽卡岩中属于退化热液交代阶段的产物,常由交代早期的石榴子石或单斜辉石而成^[24]。南秧田钨矿床矽卡岩中的角闪石为钙闪石族,为透闪石-阳起石的类质同像系列,经计算其化学式为 $(\text{Na}_{0.16}\text{K}_{0.05})(\text{Ca}_{1.37}\text{Mn}^{2+0.085}\text{Fe}^{2+0.54})(\text{Al}^{3+0.68}\text{Cr}^{3+0.061}\text{Mg}^{2+3.08}\text{Fe}^{2+1.17})(\text{Si}_{7.84}\text{Al}_{0.16})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$;矽卡岩中电气石化学式为 $(\text{Na}_{0.63}\text{Ca}_{0.09}\text{K}_{0.01})(\text{Mg}^{2+1.52}\text{Fe}^{2+0.97}\text{Al}^{3+0.01}\text{Ti}_{0.13}\text{Cr}_{0.05})\text{Al}[\text{Si}_6\text{O}_{18}][\text{BO}_3]_3(\text{OH})_4$,为镁电气石-黑电气石的类质同像系列;红帘石的化学式为 $\text{Ca}_2(\text{Mn}^{3+0.61}\text{Fe}^{3+0.12}\text{Al}^{3+0.74})\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$;绿帘石的化学式为 $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+0.29}\text{Al}^{3+0.94})\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$,绿帘石化是低温钙质交代作用的主要特征。

4 矽卡岩的成因探讨

目前,关于矽卡岩的成因争议较多,主要观点为:①传统意义上的接触交代成因矽卡岩;②变质成因矽卡岩;③喷流-沉积(热水沉积)成因矽卡岩;④岩浆成因矽卡岩;不同成因矽卡岩具有不同的矽卡岩矿物组合,并且因为它们的控制因素和成岩物质来源不同,其矽卡岩矿物的特征和成分亦有较大差异。

典型矿床对比研究表明,该矿床中矽卡岩的成分特征与传统岩浆交代钙质岩石形成的矽卡岩有明显差别,而与澳大利亚 Broken Hill Ettlewood 热水沉积的钙硅酸盐的特征十分相似。项目最新研究资料(内部资料,未发表)表明:赋矿地层南秧田岩组存在一套细碧岩-石英角斑岩系,细碧岩、碧玉岩、碳质岩-硅质岩等硅质岩-海相火山岩建造组合。对中基性火山岩进行原岩恢复(石英角斑岩-碧玄岩),认为其属大陆(缘)裂谷环境下受地幔柱影响的玄武-安山岩系,应

为中-新元古代越北古陆生长阶段的沉积-火山建造。该套建造组合与澳大利亚 Broken Hill Ettlewood 的成矿背景十分相似,结合矽卡岩矿物特征,认为矽卡岩的形成及成矿作用可能与本区中-新元古代裂谷环境下的热泉活动相关。

5 结语

通过对南秧田白钨矿矿床矽卡岩矿物研究,得出以下结论。

(1) 矽卡岩矿物的成分特征。南秧田白钨矿矿床中矽卡岩的形成演化过程及矿物成分,与传统岩浆热液交代钙质岩石形成的矽卡岩明显不同,尽管主要原生矽卡岩矿物和退化蚀变矿物在矿物大类上没有明显的差异,但在矿物准确分类定名上,成分差异较大。电子探针分析结果表明:南秧田白钨矿矿床中单斜辉石以次透辉石、似次透辉石为主,其次为低铁次透辉石、普通辉石,含极少量的透辉石、易变普通辉石。石榴子石的端元组分以钙铝榴石为主,其摩尔分数的变化范围为 87.48% ~ 94.23%,平均为 91.26%,其次是铁铝榴石摩尔分数变化范围为 5.54% ~ 10.09%,镁铝榴石最少变化范围为 0.24% ~ 0.53%。钙铝榴石的含量较典型岩浆热液交代钙质岩石形成的石榴子石的端元组分含量高。

(2) 与矽卡岩共生的矿物成分特征。与矽卡岩共生的矿物还有角闪石族矿物、电气石族矿物、帘石族等矿物。南秧田白钨矿矿床中的角闪石族矿物为透闪石-阳起石的类质同像系列,经计算其化学式为: $(\text{Na}_{0.16}\text{K}_{0.05})(\text{Ca}_{1.37}\text{Mn}^{2+0.085}\text{Fe}^{2+0.54})(\text{Al}^{3+0.68}\text{Cr}^{3+0.061}\text{Mg}^{2+3.08}\text{Fe}^{2+1.17})(\text{Si}_{7.84}\text{Al}_{0.16})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ 。电气石族为镁电气石-黑电气石的类质同像系列,其化学式为 $(\text{Na}_{0.63}\text{Ca}_{0.09}\text{K}_{0.01})(\text{Mg}^{2+1.52}\text{Fe}^{2+0.97}\text{Al}^{3+0.01}\text{Ti}_{0.13}\text{Cr}_{0.05})\text{Al}[\text{Si}_6\text{O}_{18}][\text{BO}_3]_3(\text{OH})_4$ 。帘石族矿物有红帘石和绿帘石,经探针分析结果计算,红帘石的化学式为 $\text{Ca}_2(\text{Mn}^{3+0.61}\text{Fe}^{3+0.12}\text{Al}^{3+0.74})\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$,绿帘石的化学式为 $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+0.29}\text{Al}^{3+0.94})\text{Al}[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$ 。

(3) 矽卡岩的成因。矽卡岩的成分特征与传统岩浆交代钙质岩石形成的矽卡岩有明显差别,与澳大利亚 Broken Hill Ettlewood 热水沉积的钙硅酸盐的特征则十分相似。矽卡岩的形成及成矿作用可能与本区中-新元古代裂谷环境下的热泉活动相关。

致谢: 本文凝结了麻栗坡项目组全体成员劳动成果,在文章修改过程中得到项目负责人张林奎的指导,电子探针分析得到成都地质矿产研究所徐金沙教授的耐心指导,在此表示衷心的感谢。

6 参考文献

- [1] 袁见齐,朱上庆,翟裕生. 矿床学[M]. 北京:地质出版社,1985:114-130.
- [2] 蔡改贫,吴叶彬,陈少平. 世代钨矿资源浅析[J]. 世代有色金属,2009(4):62-65.
- [3] Klepper M R. The Sangdong tungsten deposit, southern Korea[J]. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 1947, 42(5):465-477.
- [4] 何小平. 瑶岗仙钨矿找矿预测探讨[J]. 中国钨业,2002, 17(4):39-43.
- [5] 殷顺生,王昌烈. 郴县新田岭钨矿床地质特征[J]. 1994, 13(4):205-211.
- [6] 田帮生,袁步生. 赣西北香炉山钨矿床地质特征与找矿标志[J]. 高校地质学报,2008,14(1):114-119.
- [7] 曾志刚,李朝阳,刘玉平. 老君山成矿区变质成因矽卡岩的地球化学特征[J]. 矿物学报,1999,19(1):48-55.
- [8] 三一七地质分队. 南秧田钨矿深部评价报告[R]. 1984: 21-22.
- [9] 云南地质矿产局. 1:5万麻栗坡县幅、都龙幅区域地质调查联测报告[R]. 1999:79.
- [10] Jackson E D, Stevens R E. A computer-based procedure for deriving mineral formulas from mineral analyses [R]. US Geological Survey, 1976:575-C, C23-C31.
- [11] Leake B E, Wodley A R, Arps E S. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission New Mineral and Mineral Names [J]. *American Mineralogist*, 1997, 82(3):1019-1037.
- [12] 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:148-167.
- [13] 张林奎,任光明,陈敏华,戴婕. 云南麻栗坡地区矿产远景调查设计书[R]. 成都:成都地质矿产研究所. 2010:76.
- [14] 李逸群,颜晓鍾. 中国南岭及邻区钨矿床矿物学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991:21-22.
- [15] 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. 新疆蒙库铁矿床矽卡岩矿物学特征及其意义[J]. 矿床地质,2007,26(4):455-463.
- [16] 马鸿文. 结晶岩热力学概论[M]. 北京:高等教育出版社,2001:18-32.
- [17] 常丽华,陈曼云,金巍. 变质岩鉴定手册[M]. 北京:地质出版社,2006:186.
- [18] 赵一鸣. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社,1990: 30-45.
- [19] 罗古风,陈斌,薛纪越. 结晶学与矿物学[M]. 南京:南京大学出版社,1998:231-232.
- [20] 尹京武,李铉具,崔庆勇,金尚中. 湖南省柿竹园矽卡岩矿床中石榴石特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2000, 25(2):163-171.
- [21] 张作衡,毛景文,杨建民. 北祁连加里东造山带塔尔沟矽卡岩-石英脉型钨矿床地质及成因[J]. 矿床地质, 2002, 21(2):200-210.
- [22] 李大新,赵一鸣. 江西焦里矽卡岩银铅锌钨矿床的矿化矽卡岩分带和流体演化[J]. 地质论评,2004,50(1):16-24.
- [23] Plimer I R. Strata-bound scheelite meta-evaporites Broken Hill, Australia [J]. *Australia Economic Geology*, 1994, 89(3):423-437.
- [24] 赵斌,李维显,蔡元吉. 黑钨矿锡石铌铁矿细晶石铌钽铁矿生成条件及黑钨矿石和锡石中铌钽含量变化的实验研究[J]. 地球化学,1977(2):123-135.
- [25] 赵一鸣,李大新. 中国矽卡岩矿床中的角闪石[J]. 矿床地质,2003,22(4):355-359.