湖南金船塘矿区矽卡岩矿物及 Sn 元素 在绿帘石中的分布特征

刘惠芳,陆 琦

中国地质大学地质过程和矿产资源国家重点实验室,湖北武汉 430074

摘要: 金船塘矿区位于千里山花岗岩岩体西侧, 与东侧柿竹园矿区均是湖南柿竹园特大型 W-Sn-Mo-Bi 矿床目前正在开采 的重要矿区,该矿区块状矽卡岩的矿物特点是;石榴子石以钙铝石榴子石为主,辉石存在透辉石一钙铁辉石连续系列,长石 以钙长石大量产出为特点,硅灰石出现了不常见的锰铁硅灰石:绿帘石中普遍含 Sn SnO2 含量 0.2%~2%.根据绿帘石中 Sn元素的详细测定和计算,查明 Sn元素在绿帘石中含量与在矿物中位置具幂律函数关系,计算的分形维为 1.93,从矿物 微观的尺度确认 Sn 等成矿元素在运移和分布上具分形时一 空结构, 从而证实自组织的临界状态是柿竹 园特大型 多金属矿 床动力学的基本特点.

关键词: 砂卡岩矿物; 锰铁硅灰石; 绿帘石; Sn 元素; 分形时一空结构; 金船塘矿区. 中图分类号: P578; P618.44 文章编号:1000-2383(2008)02-0210-09

收稿日期: 2007-06-11

Distribution of Skarn Minerals and Sn in the Epidote in Jinchuantang Mining Area, Hunan

LIU Hui-fang, LU Qi

State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract Jinchuantang is an important mining area in operation in the super large W-Sn-Mo-Bi deposit of Shizhuyuan, Hunan Province. The mineral characteristics of the massive skarn of the area are: the garnet is mainly of anorthite; the pyroxene exists as continuous series of dipside-salite-ferrosolite-hedenbergite; the feldspar is mainly of anorthite; the wollastonite is found as a type of a rare mineral-(Mn, Fe)-wollastonite; the sphene is widely-spread as a skarn mineral, and its content of aluminum oxide is relatively high (maximum content being 8. 32% wt), and the Sn content of some sphene minerals is also relatively high; Sn is also widely spread in the mineral epidote, and the content of SnO₂ is 0. 2% - 2%. According to the distribution and the content of SnO₂ in the mineral epidote, it is found that, the content has the power function with its location, and the calculated fractional-dimension from the distribution of tin oxide is 1.93. From the mineral micro-scale, the transportation and distribution of ore element tin possess the fractional dimension time-location structure, and it is confirmed that the self-constructing critical situation is the basic dynamical characteristic of the super large multi-metal deposit of Shizhuyuan.

Key words: skarn mineral; (Mn, Fe)-wollastonite; Sn in epidote; fractional dimension time-location structure; Jinchuantang mining area.

金船塘矿区位于千里山花岗岩岩体西侧,与东 (1987)、王书凤和张绮玲(1988)、毛景文(1997)、毛 侧柿竹园矿区遥呼对应,均是湖南柿竹园特大型 W-Sn-Mo-Bi 矿床目前正在开采的重要矿区,王昌烈等

景文等(1998)对柿竹园矿区的矽卡岩、矿床地质、地 球化学已经做过详细的研究,而对金船塘矿区矿床

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No.49633120).

-)**, 女, 工程师, 从事岩石矿物检测与研究, E-mail. liuhuifang @cug, edu. cn** na Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 简介:刘惠芳(1957

地质,特别是砂卡岩的研究较少.

本文在野外工作的基础上,通过详细的显微镜 观察,特别是通过系统的电子探针成分分析和若干 单矿物的 X 射线分析,对金船塘高钙矽卡岩矿物做 了详细的研究工作,并探讨了成矿元素 Sn 在矽卡 岩矿物绿帘石中的分布特征,从矿物微观的尺度确 认 Sn 等成矿元素在运移和分布上具分形时一空结 构,从而进一步证实自组织的临界状态是柿竹园特 大型多金属矿床动力学的基本特点.

1 地质概况

柿竹园 W-Sn-Mo-Bi多金属矿床位于中国湖南 郴州市东南,为一个超大型多金属矿床(图1).近年 来,在柿竹园矿床外围又发现了一批规模可观的



图 1 千里山花岗岩及周围地质体略图(毛景文等, 1998)

Fig. 1 Schematic geological map of the Qianlishan grantite stock 1. 第四系; 2. 上泥盆统锡矿山组白云质灰岩; 3. 上泥盆统余田桥组灰 岩和泥灰岩; 4. 中泥盆统棋梓桥组白云质灰岩; 5. 中泥盆统马涧组砂 岩; 6. 前寒武震旦系变质砂岩; 7. 似斑状黑云母花岗岩; 8. 等粒黑云 母花岗岩; 9. 花岗斑岩; 10. 辉绿岩; 11. Sn-Cu 矿化似斑状黑云母花 岗岩; 12. 块状云英岩; 13. 块状砂卡岩; 14. 地质界线; 15. 断裂; 16. 采 样位置 Pb、Zn、Ag 矿床. 该特大型矿床由 3 个阶段不同成 矿作用叠加而成. 它们分别与本矿区千里山花岗岩 3 个成矿阶段有着成因联系. 第一矿化阶段包括含 矿钙质砂卡岩和含矿退化蚀变岩; 第二矿化阶段为 云英岩矿化. 在空间上叠加于块状砂卡岩及外部大 理岩之上, 这 2 个阶段的矿化均以 W-Sn-Mo-Bi 为 主; 第三阶段为与锰质砂卡岩相伴生的 Pb-Zn-Ag 矿化. 在柿竹园矿区, 矿化蚀变作用持续了几十个百 万年. 第一期似斑状黑云母花岗岩(Rb-Sr 等时线年 龄 152±9 Ma)侵入, 导致了大面积的块状砂卡岩及 随之而出现的退化蚀变作用; 第二期等粒黑云母花 岗岩(Rb-Sr 等时线年龄 137 ±7 Ma)的侵入产生了 云英岩、脉状砂卡岩和一些锰质砂卡岩小脉; 第三期 花岗斑岩(Rb-Sr 等时线年龄 131±1 Ma)的侵入形 成了锰质砂卡岩(王昌烈等, 1987; 毛景文等, 1998).

2 金船塘矿区主要矽卡岩矿物的特征

2.1 石榴子石

石榴子石产出于块状透辉石石榴子石矽卡岩, 岩石后期受云英岩化,同时 W-Sn-Mo-Bi 矿化强烈. 石榴子石大部分半自形一自形,有明显的光性异常, 结晶比较粗大,一般在 1~2 mm,最大达 5 mm 以 上.石榴子石在光学显微镜下有光性异常(图 2A), 电子探针背散射成分像显示不太明显的成分环带. 27 个石榴子石矿物颗粒的电子探针分析结果见 表 1,表中 Fe2O3 的含量由 FeO 换算而成.

石榴子石为含铁钙铝石榴子石,计算的矿物分 子式为:(Ca2.8~2.9 Mn0.05~0.1 Fe $_{0}^{2+}$ 0.1)(Al1.3~1.5 Fe $_{0}^{3+}$ 5~0.7)(SiO4)3,钙铁榴石分子(Ad)为25%~ 35%,钙铝榴石分子(Gr)为65%~75%;而在柿竹 园矿区,矽卡岩中的石榴子石为含铝钙铁石榴子石 (王书凤和张绮玲,1988),其钙铁榴石分子(Ad)为 52.5%~75%,钙铝榴石分子(Gr)为25%~ 47.5%;毛景文等(1998)分析了柿竹园矽卡岩不同 部位62个石榴子石,钙铁榴石(And)分子变化范围 14%~73%,钙铝榴石分子15%~76%,属钙铁榴 石一钙铝榴石过渡类型,虽然两者得到的石榴子石 种属有一定的差别,但相比较,金船塘矽卡岩中27 个石榴子石颗粒成分变化小,属钙铝石榴子石,说明 2个矿区的石榴子石在种属上存在着差异.

2.2 辉石

21994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. 1997/www.cnki.net



图 2 矿物的显微镜图片

Fig. 2 Micrograph of minerals

A. 照相倍数100×正交偏光.1. 石榴子石, 自形-半自形粒状, 具光性异常, 显光性环带, 被萤石、绿帘石等矿物交代; 2. 次透辉石, 半 自形粒状,被萤石、绿帘石等矿物交代(成分见表2中7号);3.铁锰硅灰石,他形一半自形短柱状,颗粒比较细小(成分见表3中13 号); 4. 绿帘石, 不规则粒状, 颗粒细小, 以干涉色鲜艳多色为特征, 后期蚀变矿物; 5. 萤石. B. 照相倍数 400× 单偏光. 1. 次透辉石, 半 自形柱状,有的颗粒断面上见两组解理,与石榴子石交生,含金属矿物包体(成分见表2中7、8号);2.石榴子石,半自形粒状,被萤石 等矿物交代; 3. 萤石; 4. 辉铋矿. C. 照相倍数 400× 单偏光. 1. 钙铁辉石, 新鲜者浅棕色. 铁质污染成棕褐色. 交代残余状(成分见表 2 中13号);2.次透辉石,半自形粒状,颗粒相对于钙铁辉石要大,(成分见表2中6号);3.石榴子石.4.绿帘石,黄绿色,交代钙铁辉石 和次透辉石等矿物. D. 照相倍数510×单偏光. 1. 钙长石, 半自形一自形粒状, 颗粒大小 0. 05~0.3 mm(成分见表 3 中 3 号); 2. 萤石, 无色, 局部显浅紫色, 不规则粒状, 分布在钙长石间. E. 照相倍数 400× 正交偏光. 硅 灰石, 针柱状 集合体, 成 分比较纯 (见表 3 中 6、7 号). F. 照相倍数 400×单偏光. 1. 铁锰硅灰石, 长柱状 含有较多的金属矿物包体(成分见表 3 中 15号); 2. 萤石, 无色透明; 3. 辉铋矿

(表 2), 其中以透辉石一次透辉石为主(图 2B), 见 Ca(M g0.68~0.51 Fe0.26~0.56 M no.06~0.10 Alo~0.04)Si2O6; 残余状的钙铁辉石(图 2C). 根据 6 件样品 12 个矿 物颗粒的分析结果,透辉石的4个亚种均存在: 透辉石 (表 2, No. $1 \sim 5$) 计算 的矿 物分子式: Ca (M g0.90~0.84 Fe0.14~0.09 M no.01~0.02 A lo.01)Si2O6;

铁次透辉石(表 2, No. $11 \sim 12$)计算的矿物分子式: Ca(Fe0.45~0.58 M no. 12~0.14 M g0.42~0.25 A lo~0.05) Si2O6; 钙铁辉石 (表 2, No. 13) 计算的矿物分子式: Ca (Feo. 70 Mg 0. 23 M no. 06 A lo. 01) Si2 O 6.

而在柿竹园矿区,辉石中Fe的含量总体较高, House, All rights reserved. http://www.cnki.n 次透辉石(表 2, No. 6~10)计算的矿物分子式:

表1 金船塘矿区石榴子石电子探针成分分析结果(%)

Table 1	Electron	microprobe	analyses	of garnet	from	lin chu an ta ng	mining	area
rante r	LIECTION	microprobe	analy ses	or gamer	11 OIII	Jindiuantang	mmmng	area

编号	SiO_2	TiO ₂	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	SnO_2	WO_3	$\operatorname{Bi}_2\operatorname{O}_5$	合计
1	38.20	0.48	15.34	11.75	1. 59	0.00	32.54	0.11	0.06	0.01	100.09
2	38.15	0.65	13.73	12.56	1.48	0.00	33.35	0.16	0.05	0.01	100.15
3	38.36	0.52	13.15	12.02	1.52	0.01	33.38	0.13	0.00	0.15	99.22
4	37.94	0.33	15.94	10.81	1.46	0.00	33.30	0.15	0.00	0.12	100.04
5	37.65	0.44	15.38	11.24	1.50	0.00	33.13	0.15	0.00	0.09	99. 59
6	37.14	0.52	14.62	11.62	1.50	0.00	33.34	0.14	0.00	0.06	98.93
7	37.52	0.53	14.03	11.51	1.37	0.00	33.23	0.14	0.08	0.04	98.44
8	37.70	0.68	14.80	11.34	1. 20	0.07	32.70	0.19	0.03	0.15	98.87
9	37.80	0.43	15.33	10.06	1.68	0.00	33.85	0.18	0.09	0.00	99.41
10	38.34	0.67	15.03	9.51	1.64	0.00	33.17	0.08	0.00	0.00	98.44
11	38.26	0.56	15.79	10.02	1. 53	0.00	33.69	0.04	0.05	0.11	100.04
12	37.21	0.69	15.97	9.27	1. 55	0.00	33.26	0.10	0.04	0.00	98.10
13	37.70	0.38	16.25	10.04	1.41	0.00	33.56	0.08	0.07	0.02	99.50
14	37.42	0.76	16.26	10.08	1. 39	0.00	33. 55	0.18	0.00	0.04	99.68
15	36.88	0.71	15.81	10.99	1. 39	0.00	33.43	0.06	0.04	0.17	99.46
16	37.20	0.46	16.16	10.76	1.44	0.00	33. 32	0.11	0.00	0.20	99.66
17	38.33	0.51	15.76	10.09	1.51	0.00	33.72	0.14	0.00	0.00	100.05
18	38.84	0.91	14.29	10.95	1.63	0.00	33. 58	0.14	0.03	0.17	100.54
19	38.04	0.90	14.63	10.42	1.54	0.01	33.57	0.10	0.04	0.16	99.42
20	38.38	0.87	15.39	11.03	1.49	0.00	33.26	0.10	0.00	0.00	100.05
21	38.60	0.78	15.71	10.83	1.56	0.05	32.88	0.12	0.00	0.04	100. 57
22	38.48	0.56	15.97	9.87	1.61	0.00	33.47	0.15	0.00	0.00	100.10
23	38.45	0.48	15.72	10.92	1.73	0.00	33.28	0.09	0.01	0.08	100.78
24	38.21	0.28	14.97	11.35	1. 58	0.00	33.67	0.13	0.01	0.00	100.19
25	38.05	0.41	14.70	10.46	1.65	0.03	33. 39	0.11	0.03	0.16	99.00
26	38.22	0.48	14.93	11.39	1.49	0.04	33.97	0.16	0.00	0.04	100.72
27	38.60	0.64	14.96	11.80	1. 43	0.04	32.87	0.09	0.00	0.06	100.49

表 2 金船塘矿区辉石的电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analyses of pyroxene from Jinchuantang mining area

序号	${ m SiO}_2$	${\rm TiO}_2$	A l_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K_2O	SnO_2	WO_3	合计
1	54.00	0.00	0.10	3.02	0.41	16.40	25.64	0.01	0.00	0.00	0.00	99.58
2	53.84	0.00	0.07	3.20	0.33	15.91	25.80	0.07	0.00	0.00	0.00	99.22
3	53.77	0.00	0.14	3.84	0.45	15.49	25.90	0.00	0.00	0.00	0.00	99.59
4	53.55	0.00	0.19	4.39	0.66	15.23	25.77	0.00	0.00	0.00	0.00	99.79
5	53.86	0.00	0.09	4.34	0.75	14.98	26.07	0.00	0.00	0.00	0.00	100.09
6	52.00	0.00	0.00	8.34	1.94	12.03	25.35	0.00	0.00	0.00	0.00	99.66
7	50.80	0.00	0.11	10.47	2.61	9.84	24.81	0.18	0.00	0.00	0.00	98.82
8	49.98	0.00	0.00	10.68	3.02	10.10	24.69	0.02	0.00	0.00	0.00	98.49
9	50.76	0.01	0.70	11.23	1.86	10.24	24.44	0.05	0.00	0.00	0.00	99.29
10	51.12	0.02	0.15	12.32	1.88	8.43	24.43	0.02	0.00	0.00	0.00	98.37
11	50.80	0.00	0.00	13.62	3.68	7.03	22.65	0.05	0.00	0.00	0.00	97.83
12	49.21	0.00	0.84	16.98	3.93	4.14	22.89	0.04	0.00	0.00	0.00	98.03
13	48.90		0.29	21.15	1. 92	3.09	22.20	0.15	0.00	0.00	0.00	98.51

主要以铁次透辉石和钙铁辉石出现(毛景文等,

着矽卡岩离岩体距离的增加及蚀变时间的延续,从 1998).毛景文等(1998)、陆琦和刘惠芳(2001)研究 钙铁石榴石向钙铝石榴石变化,说明形成矽卡岩早 过柿竹园矿区石榴子石在空间的分布特点,指出随 期,岩浆热液中含Fe元素较高.类比石榴子石成分

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3 长石、硅灰石、榍石的电子探针分析结果

Table 3 Electron microprobe analyses of feldspar, wollastanite, sphene

序号 SiO_2 TiO_2 $A l_2O_3$ FeO MnO MgO CaO Na_2O K_2O SnO_2 WO_3 合计1 43.17 0.00 35.66 0.03 0.00 0.00 19.47 0.45 0.00 0.00 0.00 98.78 2 44.72 0.00 35.07 0.07 0.00 0.00 18.71 0.71 0.00 0.00 0.00 99.28 3 44.41 0.01 35.08 0.10 0.00 0.00 17.88 0.92 0.01 0.00 0.00 98.88 5 51.45 0.01 31.52 0.08 0.01 0.00 14.79 2.70 0.02 0.00 0.00 98.88 5 51.45 0.01 31.52 0.08 0.01 0.00 47.34 0.00 0.00 0.00 99.04 7 50.45 0.00 0.00 0.47 0.11 0.00 47.37 0.00 0.00 0.00 98.83 8 51.11 0.00 0.00 0.36 0.11 0.00 47.13 0.00 0.00 0.00 98.84 9 50.31 0.00 0.00 0.52 0.69 0.00 47.13 0.00 0.00 0.00 99.06 11 51.26 0.00 0.00 0.52 0.69 0.00 46.31 0.00 0.00 0.00 99.66 11 51.26 0.00 0.00 5.55 5.52 <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>-</th> <th>•</th> <th>-</th> <th></th> <th>•</th> <th></th> <th></th> <th></th>						-	•	-		•			
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	序号	${ m SiO}_2$	${\rm TiO}_2$	$A \ l_2 O \ _3$	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K_2O	SnO_2	WO ₃	合计
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1	43.17	0.00	35.66	0.03	0.00	0.00	19.47	0.45	0.00	0.00	0.00	98.78
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2	44.72	0.00	35.07	0.07	0.00	0.00	18.71	0.71	0.00	0.00	0.00	99.28
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	3	44.41	0.01	35.08	0.10	0.00	0.00	17.88	0.92	0.01	0.00	0.00	98.41
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	4	49.55	0.00	31.71	0.11	0.00	0.00	14.79	2.70	0.02	0.00	0.00	98.88
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	5	51.45	0.01	31.52	0.08	0.01	0.00	14.00	3.46	0.09	0.00	0.00	100.62
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	6	51.36	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	47.34	0.00	0.00	0.00	0.00	99.04
8 51.11 0.00 0.36 0.11 0.00 47.13 0.00 0.00 0.00 98.71 9 50.31 0.00 0.00 0.19 0.77 0.00 47.15 0.00 0.00 0.00 98.42 10 51.54 0.00 0.00 0.52 0.69 0.00 46.31 0.00 0.00 0.00 99.06 11 51.26 0.00 0.00 5.2 5.6 0.16 37.91 0.00 0.00 0.00 99.06 12 50.48 0.00 0.00 5.02 5.56 0.16 37.91 0.00 0.00 0.00 99.65 14 50.42 0.00 0.00 5.55 5.52 0.19 37.88 0.00 0.00 0.00 99.65 14 50.47 0.00 0.00 5.07 5.36 0.11 38.68 0.00 0.00 0.00 99.48 15 49.34 0.00 0.00 5.07 5.36 0.17 37.44 0.00 0.00 0.00 <td< th=""><th>7</th><th>50.45</th><th>0.00</th><th>0.00</th><th>0.47</th><th>0.11</th><th>0.00</th><th>47.37</th><th>0.00</th><th>0.00</th><th>0.00</th><th>0.00</th><th>98.39</th></td<>	7	50.45	0.00	0.00	0.47	0.11	0.00	47.37	0.00	0.00	0.00	0.00	98.39
9 50. 31 0. 00 0. 00 0. 19 0. 77 0. 00 47. 15 0. 00 0. 00 0. 00 0. 00 98. 42 10 51. 54 0. 00 0. 00 0. 52 0. 69 0. 00 46. 31 0. 00 0. 00 0. 00 99. 66 11 51. 26 0. 00 0. 00 0. 36 0. 10 0. 00 47. 88 0. 00 0. 00 0. 00 99. 66 12 50. 48 0. 00 0. 00 5. 02 5. 56 0. 16 37. 91 0. 00 0. 00 0. 00 99. 63 13 50. 42 0. 00 0. 00 5. 55 5. 52 0. 19 37. 88 0. 00 0. 00 0. 09 99. 65 14 50. 47 0. 00 0. 00 5. 07 5. 36 0. 11 38. 10 0. 00 0. 00 0. 00 99. 48 15 49. 34 0. 00 0. 00 5. 07 5. 36 0. 11 38. 10 0. 00 0. 00 0. 00 99. 48 16 51. 17 0. 00 0. 00 4. 94	8	51.11	0.00	0.00	0.36	0.11	0.00	47.13	0.00	0.00	0.00	0.00	98.71
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	9	50.31	0.00	0.00	0.19	0.77	0.00	47.15	0.00	0.00	0.00	0.00	98.42
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	10	51.54	0.00	0.00	0.52	0.69	0.00	46.31	0.00	0.00	0.00	0.00	99.06
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	11	51.26	0.00	0.00	0.36	0.10	0.00	47.88	0.00	0.00	0.00	0.00	99.60
13 50. 42 0. 00 0. 00 5. 55 5. 52 0. 19 37. 88 0. 00 0. 00 0. 00 0. 09 99. 65 14 50. 47 0. 00 0. 00 4. 80 5. 39 0. 15 38. 68 0. 00 0. 00 0. 00 0. 00 99. 48 15 49. 34 0. 00 0. 00 5. 07 5. 36 0. 11 38. 10 0. 00 0. 00 0. 00 99. 48 16 51. 17 0. 00 0. 00 4. 94 4.95 0. 17 37. 44 0. 00 0. 00 0. 00 99. 67 17 31. 26 37. 12 1. 00 0. 00 0. 00 0. 00 29. 61 0. 00 0. 00 0. 02 99. 01 18 30. 16 36. 26 3. 02 0. 00 0. 00 0. 12 29. 61 0. 00 0. 00 0. 00 98. 41 19 31. 72 30. 44 6. 52 0. 00 0. 00 0. 12 29. 61 0. 00 0. 00 0. 00 98. 41	12	50.48	0.00	0.00	5.02	5.56	0.16	37.91	0.00	0.00	0.00	0.00	99.13
14 50. 47 0. 00 0. 00 4. 80 5. 39 0. 15 38. 68 0. 00 0. 00 0. 00 99. 48 15 49. 34 0. 00 0. 00 5. 07 5. 36 0. 11 38. 10 0. 00 0. 00 0. 00 99. 48 16 51. 17 0. 00 0. 00 4. 94 4. 95 0. 17 37. 44 0. 00 0. 00 0. 00 98. 67 17 31. 26 37. 12 1. 00 0. 00 0. 00 0. 00 29. 61 0. 00 0. 00 0. 02 99. 01 18 30. 16 36. 26 3. 02 0. 00 0. 00 0. 12 29. 61 0. 00 0. 00 0. 00 98. 54 19 31. 72 30. 44 6. 52 0. 00 0. 00 0. 12 29. 61 0. 00 0. 00 0. 00 98. 41	13	50.42	0.00	0.00	5.55	5.52	0.19	37.88	0.00	0.00	0.00	0.09	99.65
15 49.34 0.00 0.00 5.07 5.36 0.11 38.10 0.00 0.00 0.00 97.98 16 51.17 0.00 0.00 4.94 4.95 0.17 37.44 0.00 0.00 0.00 98.67 17 31.26 37.12 1.00 0.00 0.00 0.00 29.61 0.00 0.00 0.02 99.01 18 30.16 36.26 3.02 0.00 0.00 0.12 29.61 0.00 0.00 0.00 98.54 19 31.72 30.44 6.52 0.00 0.00 0.12 29.61 0.00 0.00 0.00 98.41	14	50.47	0.00	0.00	4.80	5.39	0.15	38.68	0.00	0.00	0.00	0.00	99.48
16 51.17 0.00 0.00 4.94 4.95 0.17 37.44 0.00 0.00 0.00 98.67 17 31.26 37.12 1.00 0.00 0.00 0.00 29.61 0.00 0.00 0.02 99.01 18 30.16 36.26 3.02 0.00 0.00 0.00 29.61 0.00 0.00 0.00 98.54 19 31.72 30.44 6.52 0.00 0.00 0.12 29.61 0.00 0.00 0.00 98.41	15	49.34	0.00	0.00	5.07	5.36	0.11	38.10	0.00	0.00	0.00	0.00	97.98
17 31. 26 37. 12 1. 00 0. 00 0. 00 0. 00 29. 61 0. 00 0. 00 0. 02 99. 01 18 30. 16 36. 26 3. 02 0. 00 0. 00 0. 00 29. 10 0. 00 0. 00 0. 00 98. 54 19 31. 72 30. 44 6. 52 0. 00 0. 00 0. 12 29. 61 0. 00 0. 00 0. 00 98. 41	16	51.17	0.00	0.00	4.94	4.95	0.17	37.44	0.00	0.00	0.00	0.00	98.67
18 30. 16 36. 26 3. 02 0. 00 0. 00 0. 00 29. 10 0. 00 0. 00 0. 00 98. 54 19 31. 72 30. 44 6. 52 0. 00 0. 00 0. 12 29. 61 0. 00 0. 00 0. 00 98. 41	17	31.26	37.12	1.00	0.00	0.00	0.00	29.61	0.00	0.00	0.00	0.02	99.01
19 31.72 30.44 6.52 0.00 0.00 0.12 29.61 0.00 0.00 0.00 98.41	18	30.16	36.26	3.02	0.00	0.00	0.00	29.10	0.00	0.00	0.00	0.00	98.54
	19	31.72	30.44	6.52	0.00	0.00	0.12	29.61	0.00	0.00	0.00	0.00	98.41
20 30.74 24.85 8.32 0.52 0.02 0.22 29.33 0.00 0.00 4.48 0.00 98.48	20	30.74	24.85	8.32	0.52	0.02	0.22	29.33	0.00	0.00	4.48	0.00	98.48

序号 1~3. 钙长石; 4~5. 倍长石; 6~10. 硅灰石; 12~16. 铁锰硅灰石; 其中 11 为柿竹园矿区 4个硅灰石分析结果的平均值; 17~20 为 4 个榍石的分析结果.



图 3 硅灰石的 X 射线衍射图

Fig. 3 XRD patterns of wollastanite

上的变化,从辉石成分上的特点,可认为金船塘矿区 0.7943 nm, b=0.7354, c=0.255主成矿蚀变期较柿竹园矿区主成矿期稍晚,但成矿 95.33°, $\gamma=103.50$, V=0.400持续的时间要长_{lina} Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserve

2.3 长石

与石榴子石、透辉石一样,长石也是金船塘矿区 矽卡岩主要矿物,其种属以钙长石为主,其次为倍长 石,常呈自形一半自形板状、短柱状晶体产出(图 2D),手标本和薄片中估算长石含量在10%~20% 不等.长石的成分见表3(No.1~5).An分子含量 自98%~73%.高钙长石的大量出现,指示了金船 塘矿区交代围岩形成矽卡岩的成矿热液富硅和铝, 而贫钾、钠.

2.4 硅灰石

在柿竹园矿区矽卡岩中的硅灰石成分比较单一 (表 3, No. 11),为矽卡岩早期形成的矿物.在金船塘 矿区硅灰石呈针状一纤维状,常以放射状集合体产 出,按颜色可把硅灰石分为 2种:一种为无色,集合 体呈白色(成分见表 3, No. 6~10,图 2E);另一种显 浅绿灰色,集合体为绿灰色(成分见表 3, No. 12~ 16,图 2F),根据其成分应定名为铁锰硅灰石.2种 硅灰石的 X 射线粉晶衍射见图 3,衍射数据列于表 4,二者有一定的区别.

计算的晶胞参数分别为: (白色) 硅灰石 a=0.7943 nm, b=0.7354, c=0.7086, $\alpha=90.02^{\circ}$, $\beta=$ 95.33[°], $\gamma=103.50$, V=0.4006 nm³, 铁锰硅灰石 (Ca, Mn, Fe)SiO₃, a=7.869, b=7.254, c=7.004,

表4 两种硅灰石的衍射数据	
---------------	--

Table 4 XRD data of two wollastanites

白白	色硅灰石		灰色硅灰石 (含铁锰硅灰石)					
<i>d</i> (nm)	hkl	Ι	<i>d</i> (nm)	hk l	Ι			
0.771	100	4	0.763	100	4			
2				0.698	001			
0.549	101	1	0.541	101	1			
0.3847	200	10	0.3208	200	4			
0.3524	102	8	0.3484	002	8			
0.3325	201	9	0.3286	102	10			
1				0.3217	201			
0.3096	102	5	0.3057	102	8			
0.2983	120	3	0. 295 4	220	2			
1				0.2815				
0.2758	121	1						
0.2728	$\overline{2}02$	2	0.2700	112	3			
0.2600		1						
0.2562	300	4	0.2538	300	3			
0.2482	122	2	0.245 5	212	3			
0.2350	222	2	0.2315	301	2			
0. 230 8	131	3	0.2281	103	5			
0.2188	231	2						
0.2170		2	0.2164	103	1			
1				0.2069	311			
0.1985	123	1	0.1962	123	2			
0. 192 2	400	2	0.1902		1			

表 5 金船塘矿区与柿竹园矿区主要矽卡岩矿物对比

 Table 5
 Correlated essential skarn mineral at Jinchuantang mining aera with Shizhuyuan mining area

矿物	金船塘矿区	柿竹园矿区
石榴子石	钙铝石榴石为主,其含 SnO ₂ 平均为0.13%	钙铁石榴石为主,其含 SnO ₂ 平均达 0.80%
透辉石	透辉石一次透辉石一铁 次透辉石一钙铁辉石均 存在,总体而言含 铁量较低	以铁次透辉石一 钙铁辉 石为主, 总体而言含铁量 较高
长石	常见, 主要为钙 长石和倍 长石	少见, 主要为后期蚀变的 钠长石
硅灰石	出现较多的锰铁质硅灰 石, (M nO 和 FeO 含量分 别可达 5%)	硅灰石中 MnO 和 FeO 含量< 0.5%
其他	绿帘石、透闪石、榍石	符山石、透闪石、绿帘石

α= 89. 77°, $\beta = 95.48°$, $\gamma = 103.45°$, $V = 0.3870 \text{ nm}^3$.由于锰铁硅灰石中有 M n, Fe 替代 Ca,因此相对来讲其晶胞参数和晶胞体积有所减小.

从野外和室内显微镜薄片观察,铁锰硅灰石呈脉状穿切并交代白色硅灰石,因此铁锰硅灰石形成时间较晚.天然产出的铁硅灰石,特别是高锰的硅灰石,很少见报道(王濮等,1984),柿竹园多金属特大

型矿床的成矿晚期(在空间上远离千里山花岗岩)有 锰质矽卡岩的广泛分布(毛景文,1997),因此金船 塘矿区出现锰铁质硅灰石,与该矿区透辉石上述的 成分特点一样,证实该矿区矿化蚀变时间要比柿竹 园矿区更长,一直延续到锰质矽卡岩时期.

综上所述,金船塘矿区的主要矽卡岩矿物与柿竹 园矿区的矽卡岩矿物存在一定的差异,简单列于表 5.

3 绿帘石中 Sn 含量的分布特征

绿帘石亦是金船塘矿区块状矽卡岩中常见的矽 卡岩矿物,一般较石榴石、符山石等产出时间晚.绿 帘石中普遍含 Sn 元素,含量自 0.2%~2%不等,对 绿帘石(颗粒大小约为 300 μ m×220 μ m)测试分析 了 39 个点,分析点的位置及 SnO2 成分分布见图 4 和表 6.该矿物的元素含量范围及平均含量归纳如 下:SiO2 = 37.17%~38.95%,38.06%;TiO2 = 0%~0.21%,0.10%;Al2O3 = 20.33%~24.43%, 21.76%;TFeO = 10.82%~14.22%,12.92%; CaO = 21.35%~23.58%,22.76%;SnO2 = 0.23%~1.89%,0.61%.从表6可以看到该绿帘石 普遍含 SnO2,最高超过 1%,平均达 0.61%.

Sn元素的分布特征. 用以下步骤计算获得 (Kaye, 1994): (1)根据SnO2 的含量, 画出SnO2 在 该绿帘石中的等值线分布图(图4b). (2)在绿帘石 中心取边长(L)为25 μ m的正方形A和B(图4b). 分别以这2个正方形为中心,分别取25, 75, 125, 175 μ m即L比值为1:3:5:7)的正方形,以数格 子的方法,统计获得含量参数 f_a, f_b, f_a (b)= $\sum \alpha S$ 其中 α 为SnO2 面分布等值线值, S为某一等值线范 围内的面积, i分别为1.2%, 1.0%, 0.8%, 0.6%及 0.4%. (3)列表计算出 lnL和 ln f_a 、ln f_b (表7). (4) 求 lnL = ln f_a 、lnL = ln f_b 幂函数的斜率,即求得分 形为 D_a 和 D_b (表7). 从图5b, 5c 可看出 lnL = ln f_a 、 lnL = ln f_b 幂函数为线性关系.

4 结语

(1)金船塘矿区块状矽卡岩是硅灰石一透辉石 一石榴子石矽卡岩,后期遭受了退化蚀变作用,但该 区块状矽卡岩矿物与柿竹园的不同,它具有以下特 点;①石榴子石以钙铝石榴子石为主,低铁;②辉石 表 6 绿帘石电子探针成分分析结果(%)

C.11. C	El t		1	1-		ſ.		
l able o	Liectron	micro	pro pe	anary	sesc	ле	piac) te

点号	SiO_2	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T FeO	MnO	MgO	CaO	SnO_2	WO3	Bi ₂ O ₅	合计
1	38. 52	0.05	22.10	11.79	0.31	0.00	22.95	0.82	0.00	0.00	96.54
2	38.91	0.04	21.70	12.00	0.15	0.00	22.91	0.31	0.00	0.00	96.02
3	38.05	0.08	21.88	13.19	0.42	0.02	22.34	0.50	0.00	0.00	96.48
4	38.01	0.10	21.47	13.28	0.17	0.06	23.04	0.43	0.00	0.04	96.60
5	37.35	0.00	20.97	12.57	0.36	0.00	23.33	1.89	0.04	0.07	96.58
6	38.60	0.04	23.19	11.74	0.25	0.00	22.78	0.50	0.06	0.00	97.16
7	38.49	0.17	21.09	13.74	0.07	0.00	22.80	0.72	0.06	0.01	97.15
8	37.95	0.20	22.12	13.84	0.09	0.00	23.13	0.81	0.00	0.11	98.25
9	37.72	0.11	21.17	13.41	0.07	0.03	22.82	0.62	0.06	0.00	96.01
10	38.43	0.08	23.43	11.15	0.38	0.01	22.24	0.23	0.00	0.00	95.95
11	38.35	0.02	23.08	10.82	0.52	0.11	23.15	0.35	0.05	0.00	96.45
12	38.33	0.06	22.02	12.81	0.17	0.00	22.82	0.61	0.00	0.20	97.02
13	38.95	0.16	22.02	12.55	0.23	0.00	22.12	0.61	0.05	0.00	96.69
14	38.13	0.15	22.08	12.08	0.23	0.00	22.24	0.51	0.00	0.09	95.51
15	38.54	0.14	22.28	12.73	0.13	0.00	22.60	0.50	0.00	0.00	96.92
16	38.12	0.17	21.01	13.68	0.05	0.00	23.06	0.74	0.02	0.16	97.01
17	37.72	0.21	21.67	13.72	0.05	0.02	22.71	0.74	0.00	0.04	96.88
18	38.28	0.03	21.23	13.64	0.14	0.00	22.64	0.50	0.00	0.00	96.46
19	38.46	0.04	22.91	11.70	0.15	0.00	22.75	1.17	0.00	0.00	97.18
20	38.47	0.04	21.43	14.10	0.35	0.03	21.35	0.43	0.03	0.00	96.23
21	38.43	0.04	22.68	11.79	0.46	0.00	22.28	0.65	0.00	0.00	96.33
22	37.95	0.04	21.55	12.46	0.08	0.03	22.57	0.61	0.03	0.00	95.32
23	38.00	0.10	20.71	13.60	0.12	0.00	22.49	0.50	0.01	0.00	95.53
24	37.90	0.14	20.53	14.22	0.10	0.00	22.96	0.72	0.02	0.24	96.83
25	37.63	0.16	21.78	13.43	0.04	0.05	23.34	0.63	0.07	0.00	97.13
26	37.37	0.16	21.61	13.46	0.04	0.00	23.35	0.52	0.00	0.04	96.55
27	38.24	0.07	21.73	12.20	0.49	0.00	22.80	0.61	0.00	0.17	96.31
28	38.12	0.01	20.33	13.37	0.24	0.00	22.74	0.36	0.00	0.00	95.17
29	38.01	0.00	21.12	13.29	0.11	0.00	22.86	0.68	0.00	0.00	96.07
30	38.38	0.13	21.21	12.56	0.11	0.00	23.00	0.78	0.03	0.00	96.20
31	38.13	0.05	21.77	13.22	0.37	0.00	22.87	0.37	0.02	0.00	96.80
32	38.31	0.06	21.95	13.08	0.28	0.00	22.49	0.85	0.00	0.23	97.25
33	37.44	0.21	21.47	13.38	0.03	0.00	23.58	0.63	0.00	0.08	96.82
34	37.72	0.19	21.04	13.62	0.02	0.00	23.34	0.57	0.00	0.00	96.50
35	37.61	0.21	21.79	13.30	0.04	0.00	22.38	0.60	0.00	0.07	96.00
36	37.84	0.05	23.23	12.85	0.32	0.00	21.89	0.68	0.00	0.03	96.89
37	37.10	0.01	21.58	13.38	0.09	0.01	22.74	0.44	0.00	0.00	95.35
38	37.68	0.18	21.34	13.48	0.09	0.00	23.25	0.56	0.00	0.00	96.58
39	37.17	0.12	22.18	12.51	0.10	0.00	23.00	0.54	0.01	0.20	95.83

表 7 绿帘石的分形维参数

 Table 7
 Parameters of fraction dimension at epidote

$L(\mu_{n}$	n) lnL	f_{a}	$\ln f_a$	$D_{\rm a}$	$f_{ m b}$	$\ln f_{\rm b}$	$D_{ m b}$	\overline{D}
25	3.219	78	4.357	1.93	75	4.317	1.94	1.94
75	4.137	736	6. 601	相关 因子	637	6. 458	相关 因子	
125	4.828	1772	7.480	r=	1724	7.452	r=	
175	5.165	3297	8.101	0.999	3280	8.096	1 000	

斜率 $D_a = \ln L / \ln f_a$; $D_b = \ln L / \ln f_b$; \overline{D} 为平均分形维.

出现钙铁辉石一铁次透辉石一次透辉石一透辉石共存的情况,以次透辉石一透辉石为主;③出现了较多的钙长石、倍长石;(4)该区除有成分单一的硅灰石存在外,出现了较多锰铁硅灰石.

(2)金船塘矿区地质体不但经历了早期矽卡岩 化、中期云英岩化的矿化蚀变作用,而且还受晚期锰 质矽卡岩矿化作用,所以认为金船塘矿区的矿化时 间较柿竹园矿区要长.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing Plouse: Alfrights reserved. Thup://www.enkinet



图 4 一粒由三连晶围绕的绿帘石(a)和绿帘石中 SnO₂ 含量(×10²)面分布等值线(b)

Fig. 4 Epidote rounded by threeling analysis range showed with red line (a); isopleth of SnO₂ mass fraction at epidote (b) a 中红线所圈表示分析区范围,晶体中暗色为裂隙,充填有透闪石;b 中带圈的数字为表 6 中成分分析的点号



图 5 (a) $L - f_a$ 函数图; (b) $\ln L - \ln f_a$ 函数图; (c) $\ln L - \ln f_b$ 函数 Fig. 5 Relations of $L vs. f_a$, $\ln L vs. \ln f_a$ and $\ln L vs. \ln f_b$

 Sn, SnO_2 含量在 $0.2\% \sim 2.0\%$, 绿帘石形成时间较 石榴子石晚, 这指示了金船塘矿区 Sn 的成 矿期较 柿竹园矿区要晚一些.

(4)根据对一颗完整的绿帘石晶体中 Sn 元素 的详细测定工作和计算,得到了 Sn 元素在绿帘石 中的分布特点具幂律分布规律,即具分形结构,分形 维为 1.94.陆琦和刘惠芳(2001)报道了柿竹园矿区 石榴子石中 Sn 元素分布的分形结构,分形维为 1.74,两者基本相同.这更进一步证明了柿竹园特大 型多金属矿床成矿元素 Sn 的运移和分布具有分形 时一空结构特征.

Kaye, B. H., 1994. A random walk through fractal dimen-

al.. Northeastern University Publishing House, Shen yang (in Chinese).

- Lu, Q., Liu, H. F., 2001. Fraction-dimensional time-spatial structure of multi-metallic deposit in Shizhuyuan. Mineralized Sn and other elements in garnet as an example. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(2): 123—127 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., 1997. M etallogenetic specificity of super giant polymetallic tungsten deposit: Taking the Shizhuyuan deposit as an example. *Scientia Geologica Sinica*, 32 (3): 351-363 (in Chinese with English abstract).

Mao, J. W., Li, H. Y., Song, X. X., et al., 1998. Geology and geochemistry of W, Sn. Mo. Bi polymetallic deposit in Shizhuyuan, Hunan. Geological Publishing House, Bei-

217

References

sions. Translated by, Xu, X. Y., Kang, Y., Chen X., et. jing (in Chinese). 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing Flouse. All rights reserved. http://www.cnki.net

- Wang, C. L., Luo, S. H., Xu, Y.Z., et al., 1987. Geology of multi-metallic tungsten deposit in Shizhuyuan. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, P., Pan Z. L., Weng, L. B., 1984. Systematic mineralogy. Geological Publishing House, Beijing, 318-320 (in Chinese).
- Wang, S. F., Zhang, Q. L., 1988. An introduction to geology in Shizhuyuan deposit. Science and Technology of Beijing Press Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

Kaye, B.H., 1994. 分形漫步. 徐新阳, 康雁, 陈旭, 等译. 沈阳: 东北大学出版社.

- 陆琦,刘惠芳,2001.柿竹园多金属矿床的分形时一空结构. 地球科学——中国地质大学学报,26(2):123-127.
- 毛景文,1997.超大型钨多金属矿床成矿特殊性——以湖南 柿竹园矿床为例.地质科学,32(3):351-363.
- 毛景文,李红艳,宋学信,等,1998.湖南柿竹园钨锡钼铋多金 属矿床地质与地球化学.北京:地质出版社.
- 王昌烈, 罗仕徽, 胥友志, 等, 1987. 柿竹园钨多金属矿床地 质. 北京: 地质出版社.
- 王濮,潘兆橹,翁玲宝,1984.系统矿物学(中册).北京:地质 出版社,318-320.
- 王书凤, 张绮玲, 1988. 柿竹园矿床地质引论. 北京: 北京科学 技术出版社.