

文章编号: 1000-4734(2011)03-0338-15

云南个旧新山层状透辉石岩地质地球化学特征与成因探讨

钱志宽^{1,2}, 罗泰义^{1*}, 黄智龙¹, 童祥³, 杨宝富³, 杨文宝³, 陆荣宇³

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 云南锡业集团公司, 云南 个旧 661000)

摘要:新山层状、似层状透辉石岩产于新山岩体顶部碳酸盐岩地层层间, 颜色较浅, 呈浅绿色。其主要矿物为次透辉石, 含量在 50% 以上, 其次为钙长石, 且矿物粒度小, 呈间粒间隐结构。而发育在矿区花岗岩体与碳酸盐岩地层接触带的透辉石夕卡岩中主要矿物为钙铁辉石, 含量在 65% 以上, 其次为透闪石、石榴石和硅灰石等, 矿物粒度较粗, 呈显晶粒状结构。新山层状、似层状透辉石岩具有高 Mg、Ti、P, 富集 Sr 和大离子亲石元素 (Rb、Th、U) 相对亏损 Ba、K 等特征; 稀土分配模式为右倾型, 具有较小的 Eu 负异常 (0.40 ~ 0.61)。整体上具有与矿区碱性玄武岩相似的微量元素和稀土元素特征, 明显有别于新山花岗岩及新山典型的透辉石夕卡岩。通过地质、岩石学及地球化学研究, 认为新山层状、似层状透辉石岩原岩很可能就是印支期碱性玄武岩, 即在热卤水体体系中, 拉张裂谷环境下喷发的碱性玄武岩经热水交代蚀变形成。

关键词:层状透辉石岩; 热水交代; 新山铜锡矿床; 云南个旧

中图分类号: P571; P588.31; P611; P618.44 文献标识码: A

作者简介:钱志宽, 男, 1984 年生, 博士研究生, 主要从事岩石学及矿床学研究. E-mail: qianzhikuan-0317@163.com.

个旧锡矿是驰名中外的超大型锡多金属矿床, 开采历史悠久, 其复杂的成矿地质特征备受地质学家的关注。由于大多数锡矿与花岗岩有着密切关系, 长期以来, 个旧锡多金属矿通常被认为是与燕山期花岗岩有密切成因联系的热液矿床。众多学者对其矿床地质特征和成矿过程以及有关的花岗岩进行了研究^[1-23], 并提出了个旧锡矿的成矿模式^[5, 8, 19, 24-25]。20 世纪中期, 现代热水成矿作用的发现现启发了人们对地质历史时期成矿作用的认识。20 世纪 80 年代以来, 部分学者^[26-37]逐渐提出个旧在印支期存在海底喷流沉积成矿作用的观点。

新山层状、似层状透辉石岩产于新山岩体顶部的碳酸盐岩地层层间, 与新山燕山晚期花岗岩体的最短距离只有几十米。因此, 前人的研究把

新山层状、似层状透辉石岩与产在岩体与围岩接触带的透辉石夕卡岩划为同种成因类型(云南省锡业集团(控股)有限责任公司, 云南有色地质 308 队, 云南省个旧市大白岩铜锡矿接替资源勘查报告, 2008), 并没有做深入的研究。本课题组在新山矿区的野外地质考察过程中, 注意到了新山层状、似层状透辉石岩的层控特征, 且是矿区相当一部分铜矿的赋矿围岩。本文拟通过对产在新山岩体上部地层中的层状、似层状透辉石岩地质及地球化学特征的研究, 对比矿区花岗岩体与围岩接触带典型的透辉石夕卡岩的特征, 同时与矿区其他主要岩性特征进行对比。尝试性地对其成因进行初步探讨, 以期为该类型透辉石岩以及个旧锡矿的成因研究提供一些参考。

1 地质背景

从全球构造而言, 个旧超大型锡多金属矿床地处太平洋构造域与特提斯构造域的交界部位; 处于欧亚板块在东、西两侧分别被太平洋板块和印度板块俯冲、碰撞相接的部位; 位于扬子板块与

收稿日期: 2011-03-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 40603013); 中国科学院“西部之光”项目; 全国危机矿山接替资源找矿项目(编号: 2008186)

* 通讯作者, E-mail: luotaiyi@vip.gyig.ac.cn.

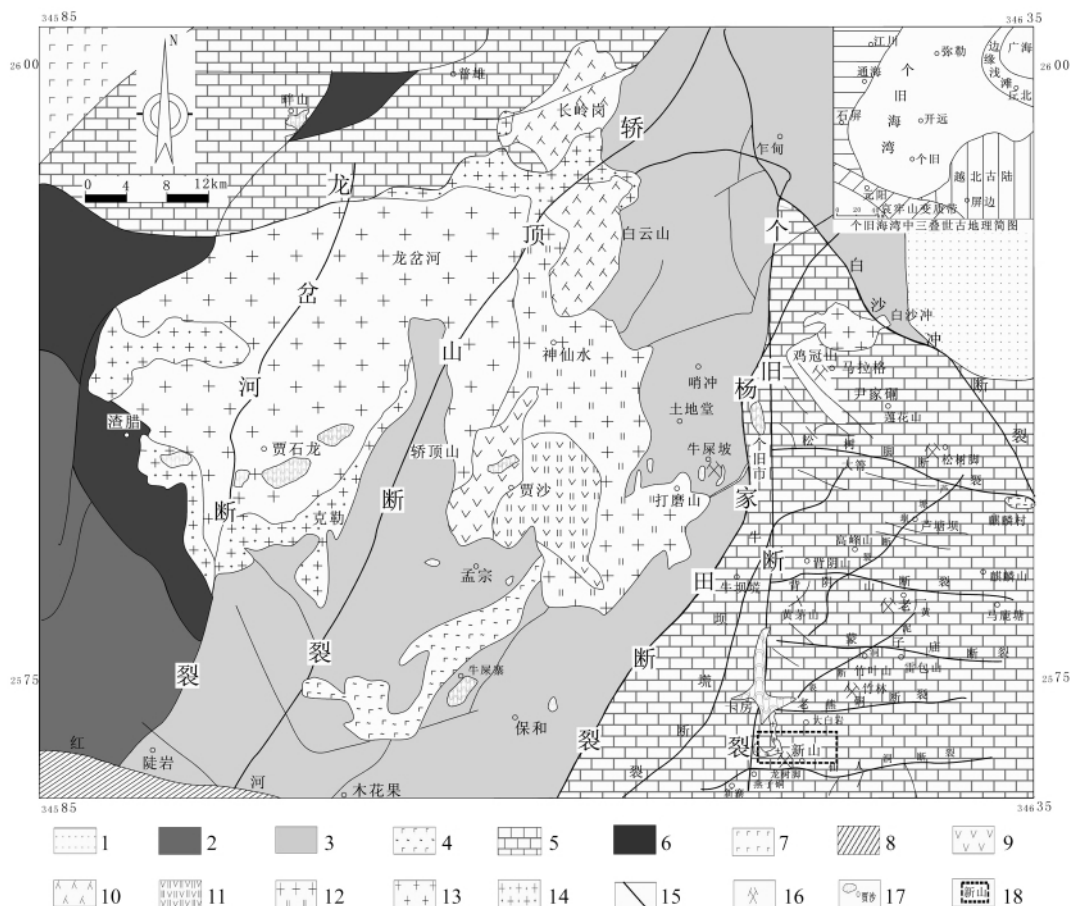


图 1 个旧地区地质简图及个旧地区中三叠世古地理简图(据 308 地质队^[5]1984 资料修改)

Fig. 1. Geological and the middle Triassic paleogeographic sketch of the Gejiu area.

华夏地块过渡带的右江褶皱带西缘。由于三大板块多次相互作用,右江褶皱带在海西-印支期拉张背景下北西、北东向微裂谷作用强烈。中三叠世个旧海湾裂谷环境下伴随多次基性火山活动,发生了基性火山沉积成矿和喷流沉积成矿作用。加上燕山期以花岗质岩浆为主的多次岩浆活动,为形成云南个旧等超大型锡多金属矿床提供了重要成矿条件^[15, 35]。

个旧地区出露地层以三叠系最为完整,仅缺失上三叠统顶部。中生界以前的地层只在矿区南部见有二叠系上统龙潭组零星出露。新生界沉积则广泛分布于山间断陷盆地中。自下而上,矿区的地质层分别是上二叠统龙潭组细粒碎屑岩及煤系地层、下三叠统飞仙关组杂色砂页岩、永镇组砂泥岩、中三叠统个旧组碳酸盐岩(其下部夹有基性火山岩)、法郎组细粒碎屑岩及一些碳酸盐岩(在

下部和上部分别夹有基性火山岩)、上三叠统鸟格组和火把冲组细粒碎屑岩。中三叠统个旧组 and 法郎组是个旧地区分布最广泛的地层,也是主要的赋矿层位。

矿区范围内断裂发育,小江岩石圈断裂南缘的南北向个旧断裂将矿区划分为东、西区,现今开采的矿床多位于东区。矿区内 EW 向和 NE-SW 向的次级断裂是最重要的控矿构造。矿区岩浆活动在时间上可主要分为印支期和燕山期 2 个大的旋回。印支旋回以基性火山活动为主,形成了碱性玄武岩、凝灰岩等火山次火山岩;燕山旋回以酸性-碱性岩浆侵入活动为主,整个岩浆演化经历了喷发(喷溢)到侵入的发展过程^[35]。

2 矿区地质特征

新山矿区位于云南省个旧市卡房镇东南(图

1) 在构造上为新山弧形背斜(轴向北东,长约3 km)属于五子山复背斜轴部竹林—新山弧形构造的南段,被东西向老熊洞断裂和仙人洞断裂挟持在中间^[5]。新山矿区出露火成岩有呈层状、似层状及透镜状产出的火山岩,主要为印支期变玄武岩和基性凝灰岩。以及燕山晚期上侵的中细粒黑云母花岗岩,即新山岩体,属老卡岩体的一部分^[5,15,38]。在矿区范围内,地表分布地层有中三叠统个旧组卡房段和马拉格段碳酸盐岩,其中卡房段底部地层($T_2g_1^1$)是区内主要含矿层位,以灰岩、泥灰岩为主,夹数层变碱性玄武岩和大理岩,变碱性玄武岩中往往有层状铜矿产出,这些铜矿与花岗岩接触带矿床均产于该层位。

新山矿区是云南个旧锡矿五大矿田之一——卡房矿田的一部分,现以开采铜、锡、钨矿为主。其中铜矿化与矿区变碱性玄武岩关系密切,锡矿化在变碱性玄武岩中有较好的异常显示,局部也可富集成矿。铜矿体和部分锡矿体与变碱性玄武岩呈层状、似层状及透镜状产在中三叠统个旧组碳酸盐岩地层中(图2)。矿区还出露一套燕山晚期中细粒黑云母花岗岩,并发育大量石英和电气石脉,石英脉中伴有钨矿化,局部已达工业品位。花岗岩体与碳酸盐岩地层接触带夕卡岩发育,但规模较小,最大厚度不足3 m。铜、锡、钨在夕卡岩中均有不同程度异常显示,但仅有钨已达到工业品位和开采价值。

新山层状、似层状透辉石岩大部分产于矿区花岗岩体上部地层中,与三叠系白云质灰岩、大理岩及变碱性玄武岩呈互层产出,产状平缓,具明显

的层控特征,延伸数百至千米。总体可分7~8层,这些层位也是矿区民采铜矿点的赋矿层位,其中约2~3层透辉石岩富铜,且已达到工业品位,锡则在各层中均有矿化异常。该类型透辉石岩野外产状与围岩碳酸盐岩地层一致,但硬度较大,颜色相比地层较深,同一层中上部往往因风化而呈灰褐色,下部则因接受了上部风化淋滤下来的铜而呈现浅绿色。与新山层状、似层状透辉石岩互层产出的部分碳酸盐岩发生大理岩化和轻微的硅化蚀变。此外,在新山岩体与围岩碳酸盐岩地层接触带还发育一套透辉石夕卡岩,其野外产状严格受岩体接触带控制,颜色较深,呈黑绿色。

3 透辉石岩矿物学及地球化学特征

3.1 矿物学特征

通过野外实地考察,发现新山层状、似层状透辉石岩大部分产于矿区花岗岩体上部地层层间,与矿区变碱性玄武岩呈互层产出,部分以夹层和透镜体产在变碱性玄武岩中。其地质产状及矿物学特征与产于新山岩体和围岩碳酸盐岩接触交代形成的透辉石夕卡岩有显著区别。我们对新山层状、似层状透辉石岩及相关围岩进行了系统取样,野外采样分为两次进行。样品采回后磨制光薄片,进行详细的镜下观察和鉴定,并对部分光片中的矿物进行探针分析。

新山层状、似层状透辉石岩呈浅蓝色到浅绿色,块状构造,局部发育条带状和纹层状硫化物(图3)。镜下矿物粒度较小,约20~50 μm,呈间粒间隐结构,偶见杏仁结构。主要矿物有透辉石(图4),占50%以上,其次为斜长石(20%~30%)等。电子探针分析显示其中透辉石为次透辉石,斜长石主要为钙长石(图5)。而产在矿区花岗岩体与围岩接触带中的透辉石夕卡岩颜色较深,为黑绿色,镜下矿物粒度较大,约1~5 mm,粒度均匀,呈显晶粒状结构,其中矿物以透辉石为主,占65%以上,晶形较好,呈柱状、粒状产出(图4);其次为透闪石、石榴石和硅灰石等。电子探针分析显示该透辉石夕卡岩中透辉石为钙铁辉石,明显有别于产在碳酸盐岩地层间的层状、似层状透辉石岩中的次透辉石(图5)。

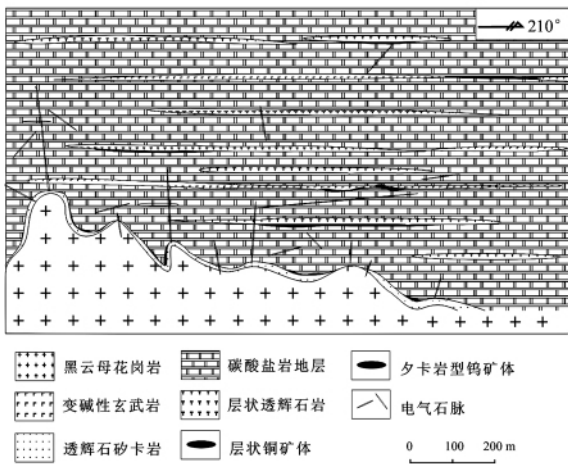


图2 新山矿区地质剖面略图

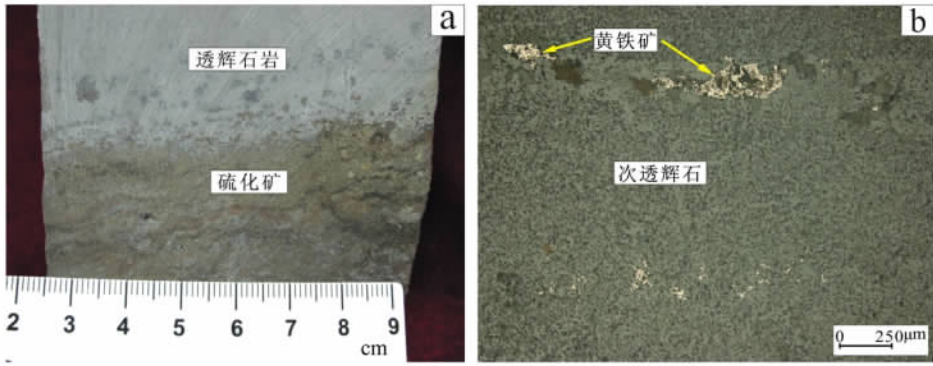


图 3 新山层状透辉石岩中的条带纹层状硫化矿

Fig. 3. The distribution form of sulfide in ore.

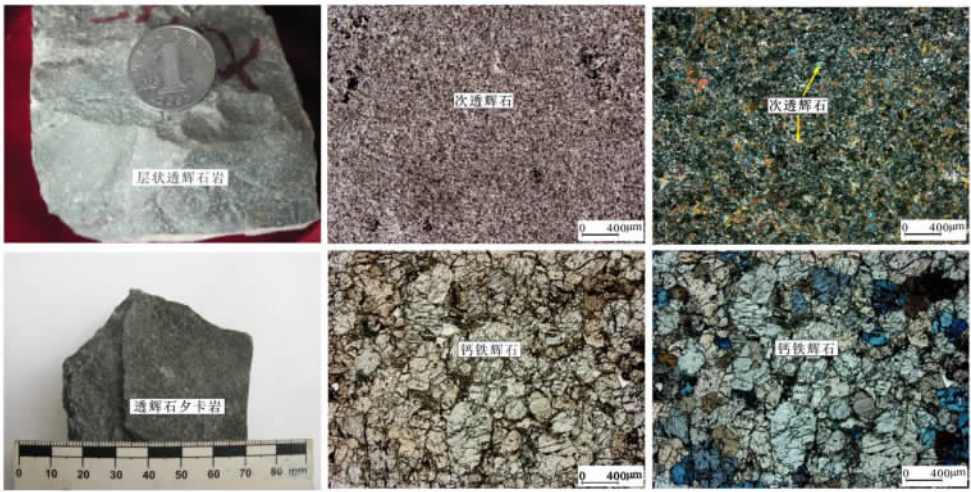


图 4 新山层状透辉石岩及新山典型透辉石夕卡岩手标本及镜下照片

Fig. 4. Photos showing hand samples and microphotographs.

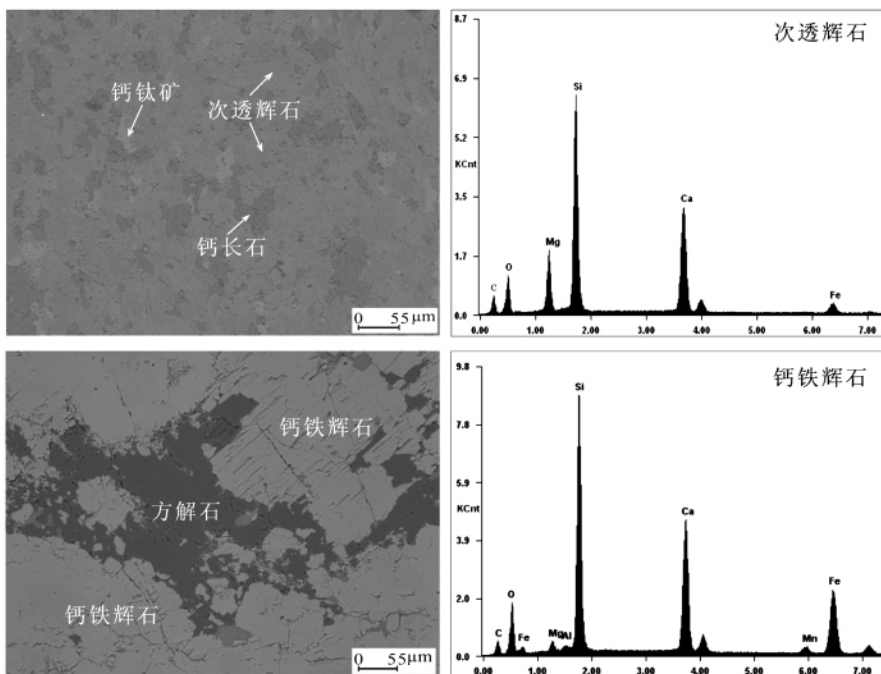


图 5 新山层状透辉石岩及新山典型透辉石岩背闪射图片和谱线图

Fig. 5. Back scattered electrons images and composition analytical spectrograms of diopside and hedenbergite.

3.2 岩石地球化学

通过对野外所采样品进行系统分析,所分析的样品均选自野外较为新鲜的岩石,经镜下鉴定,各类岩石基本保留了其原始特征。常量元素、微量元素及电子探针分析均在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成,其中常量元素分析采用X荧光光谱法,测试仪器为AXIOS X射线荧光光谱仪,分析精度优于5%;微量元素分析仪器为ELEMENT型高分辨等离子体质谱仪(ICP-MS),分析精度优于5%;电子探针分析仪器为EPMA 1600型电子探针,其中能谱分析时的测试条件为加速电压25 kV,电流4.5 nA,电子束束斑直径为1 μm ,波谱分析时的测试条件为加速电压25 kV,电流10 nA,电子束束斑直径为10 μm 。常量元素和微量元素数据见表1。

3.2.1 常量元素

新山层状、似层状透辉石岩中 $w(\text{SiO}_2)$ 变化范围为41.30%~49.60%,平均为44.76%; $w(\text{TiO}_2)$ 为0.78%~1.97%,平均1.53%; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 4.46%~14.94%,平均11.68%; $w(\text{TFe})$ 14.40%~4.38%,平均7.22%; $w(\text{MnO})$ 0.58%~0.24%,平均0.48%; $w(\text{MgO})$ 4.95%~9.79%,平均7.04%; $w(\text{CaO})$ 13.42%~28.50%,平均21.13%; $w(\text{Na}_2\text{O})$ 0.09%~0.55%,平均0.30%; $w(\text{K}_2\text{O})$ 0.08%~2.28%,平均0.37%; $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 0.35%~0.17%,平

均0.30%。

新山层状、似层状透辉石岩主量元素组成和本区与之互层产出的矿区变碱性玄武岩基本一致。与新山岩体接触带发育的典型的透辉石夕卡岩相比,层状、似层状透辉石岩相对富 TiO_2 、 MgO 、 P_2O_5 ,而贫 Al_2O_3 、 TFe 、 MnO 、 CaO 。

3.2.2 微量元素

分析数据显示,新山层状、似层状透辉石岩总体上富集Rb、Th、U、Sr,而相对亏损Ba、K、P、Ti等;其稀土配分模式为右倾型,轻稀土相对富集,重稀土相对亏损(图6)。Ce异常不明显,Eu负异常(δEu 为0.40~0.61,平均为0.51)。 ΣREE 均值为166.84(52.52~296.65), LREE/HREE 均值为5.83(3.03~8.49), La_N/Yb_N 均值为6.42(1.86~10.64),总体上具有与地层层间变碱性玄武岩相似的微量元素和稀土元素特征。

而本区花岗岩体与围岩接触带典型的透辉石夕卡岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 含量较低,5件样品平均为38.38%; $w(\text{TiO}_2)$ 均值0.09%; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 均值18.67%; $w(\text{TFe})$ 均值10.37%; $w(\text{MnO})$ 均值1.48%; $w(\text{MgO})$ 较低,均值为0.12%; $w(\text{CaO})$ 均值29.10%; $w(\text{Na}_2\text{O})$ 均值0.14%; $w(\text{K}_2\text{O})$ 均值0.08%; $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 均值1.09%。 ΣREE 均值为301.53,轻稀土和重稀土分异不明显, LREE/HREE 均值为3.07, La_N/Yb_N 均值为2.35,Eu负异常明显, δEu 为0.05,与新山岩体黑云母花岗岩的稀土元素配分模式一致。

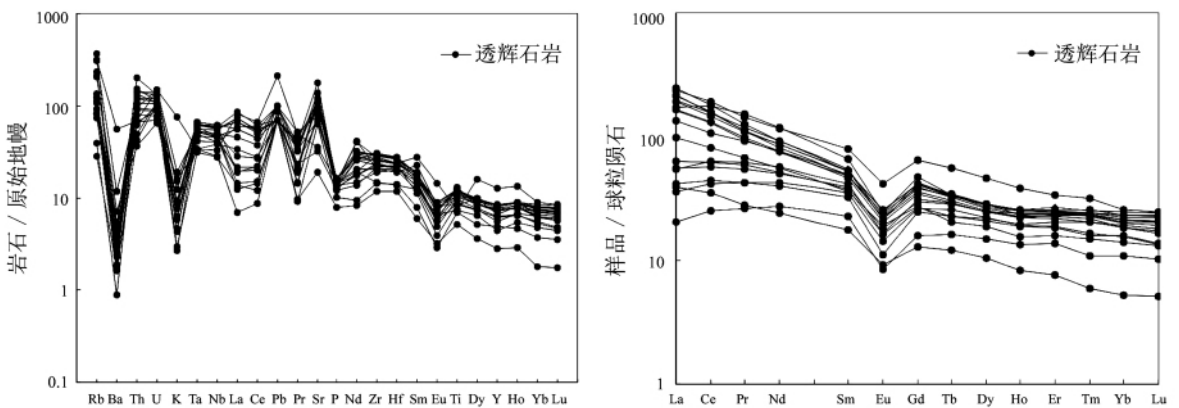


图6 新山层状透辉石岩微量元素蛛网图和稀土元素配分图(Sun和McDonough,1989)

Fig. 6. Primitive mantle normalized spider diagrams and chondrite-normalized REE patterns of diopsides in Xinshan.

表1 新山层状透辉石岩的主量元素和微量元素组成

Table 1. Major and trace element compositions of diopside rocks in Xinshan

样品	09XSP1-2	09XSP1-3	09XSP2-4B	09XSP4-1	09XSP4-2	09XSP4-3	09XSP4-4	09XSP4-5	09XSP4-9	09XSP5-2
$w_B/\%$										
SiO ₂	42.11	41.30	42.56	44.89	45.50	46.05	45.45	43.71	45.17	41.57
TiO ₂	1.85	1.62	1.75	1.80	1.85	1.77	1.86	1.13	1.91	1.65
Al ₂ O ₃	13.95	11.64	13.74	14.22	12.45	13.09	14.21	8.64	14.94	14.37
Fe ₂ O ₃ ^①	4.48	9.39	4.38	5.46	5.94	6.26	5.75	14.40	4.66	8.43
MnO	0.32	0.38	0.24	0.31	0.31	0.36	0.27	0.58	0.26	0.44
MgO	7.26	6.39	7.87	7.21	7.69	7.16	7.49	4.95	7.26	5.47
CaO	22.17	18.04	20.08	20.62	20.96	19.83	19.05	13.42	19.74	19.99
Na ₂ O	0.40	0.09	0.30	0.23	0.23	0.16	0.27	0.17	0.26	0.18
K ₂ O	0.17	0.13	0.57	0.23	0.27	0.18	0.37	2.28	0.37	0.14
P ₂ O ₅	0.30	0.30	0.27	0.34	0.31	0.35	0.35	0.33	0.35	0.29
烧失量	2.16	6.65	1.77	2.63	2.76	3.05	2.88	6.81	2.97	3.01
总量	95.17	95.93	93.54	97.94	98.27	98.26	97.95	96.42	97.89	95.54
$w_B/10^{-6}$										
Rb	71.00	52.20	197.50	86.20	84.70	67.70	132.50	200.00	147.00	52.50
Ba	13.10	16.10	81.90	16.80	21.20	16.80	36.40	389.00	26.00	11.30
Th	11.45	9.12	8.07	10.20	10.10	13.10	11.95	5.84	12.10	5.72
U	2.26	2.19	3.14	2.48	2.30	2.38	2.99	3.09	2.78	1.82
Ta	2.50	2.10	2.20	2.60	2.30	2.50	2.50	1.40	2.70	1.90
Nb	40.80	33.30	34.80	42.20	38.80	39.60	41.40	23.70	43.90	32.40
Sr	3690.00	1480.00	2500.00	2470.00	2080.00	2050.00	2300.00	747.00	2870.00	2470.00
Hf	8.10	6.50	7.20	8.50	7.30	7.30	8.20	7.30	8.40	6.50
Zr	317.00	256.00	288.00	338.00	292.00	280.00	326.00	309.00	333.00	263.00
Cu	117.00	>10000	1890.00	2040.00	3740.00	4780.00	3720.00	>10000	1650.00	>10000
Co	36.30	47.30	34.50	34.70	34.80	38.30	35.10	79.80	30.80	60.30
Ni	88.00	65.00	58.00	60.00	36.00	39.00	29.00	190.00	40.00	34.00
Sn	130.00	516.00	89.00	168.00	216.00	258.00	173.00	165.00	157.00	520.00
Pb	<5.00	7.00	7.00	<5.00	<5.00	7.00	5.00	15.00	<5.00	6.00
Zn	129.00	978.00	264.00	393.00	529.00	667.00	490.00	2320.00	569.00	977.00
Y	37.10	36.70	34.20	38.60	37.60	35.60	37.80	58.40	35.30	34.50
Zr/Hf	39.14	39.38	40.00	39.76	40.00	44.80	47.50	42.33	39.64	40.46
Nb/Ta	16.32	15.86	15.82	16.23	16.87	12.39	10.40	16.93	16.26	17.05
Th/U	5.07	4.16	2.57	4.11	4.39	5.50	4.00	1.89	4.35	3.14
Rb/Sr	0.02	0.04	0.08	0.03	0.04	0.19	0.27	0.27	0.05	0.02
K/Rb	20.34	20.67	23.99	22.14	26.45	22.06	23.17	94.60	20.89	22.13
Zr/Ti	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
La	46.00	38.60	31.70	45.70	50.70	51.00	58.00	55.60	38.80	13.20
Ce	94.80	78.20	65.50	89.60	96.80	95.00	109.00	118.00	79.80	35.10
Pr	11.20	8.98	8.81	10.35	10.65	10.45	12.00	13.60	9.38	5.18
Nd	42.90	34.70	35.70	40.00	40.30	38.10	43.40	54.30	35.90	23.60
Sm	8.42	7.29	7.53	8.14	7.96	7.37	8.08	12.20	7.02	5.95
Eu	1.30	1.29	1.26	1.23	1.45	1.40	1.49	2.41	1.18	1.05
Gd	8.65	7.84	7.41	8.38	8.56	8.08	8.43	13.25	7.07	6.16
Tb	1.27	1.23	1.13	1.24	1.29	1.21	1.26	2.09	1.09	1.06
Dy	7.19	7.13	6.40	7.14	7.28	6.69	6.80	11.65	6.28	6.24
Ho	1.46	1.42	1.29	1.45	1.42	1.33	1.43	2.17	1.35	1.26
Er	4.47	4.05	3.79	4.20	4.10	3.89	4.25	5.55	3.99	3.59
Tm	0.64	0.58	0.59	0.61	0.61	0.60	0.65	0.81	0.61	0.52
Yb	4.16	3.42	3.44	3.96	3.74	3.64	3.91	4.39	3.89	3.22
Lu	0.61	0.49	0.52	0.58	0.56	0.52	0.59	0.63	0.57	0.46
ΣREE	233.07	195.22	175.07	222.58	235.42	229.28	259.29	296.65	196.93	106.59
δEu	0.47	0.52	0.52	0.46	0.54	0.56	0.55	0.58	0.51	0.53
δCe	1.02	1.03	0.96	1.01	1.02	1.01	1.01	1.05	1.03	1.04
LREE/HREE	7.19	6.46	6.13	7.08	7.54	7.83	8.49	6.32	6.92	3.74
(La/Yb) _N	7.94	8.10	6.61	8.28	9.73	10.05	10.64	9.09	7.16	2.94
(La/Sm) _N	3.53	1.50	2.80	2.00	3.18	2.18	3.30	1.38	4.00	0.55
(Gd/Yb) _N	1.72	1.33	1.62	1.31	1.75	1.27	1.70	1.78	1.02	1.87

续表 1

样品	09XSP5-3A	XSP1-3	XSP1-4	XSP1-5	XSP1-10	XSP1-12	XSP1-14	XSP1-15	XSP1-16
$w_B/\%$									
SiO ₂	41.93	41.40	47.90	46.90	49.60	47.30	46.40	46.80	43.90
TiO ₂	1.97	1.11	1.26	1.31	1.06	1.46	0.78	1.29	1.56
Al ₂ O ₃	14.42	7.80	10.80	11.35	8.36	10.55	4.46	11.55	11.30
Fe ₂ O ₃ ^①	5.32	7.93	7.38	6.13	6.54	7.81	11.50	7.75	7.59
MnO	0.38	0.68	0.59	0.41	0.52	0.64	1.23	0.68	0.61
MgO	6.31	6.34	8.17	8.26	9.79	6.90	6.61	6.77	5.77
CaO	21.44	28.50	21.00	22.70	22.10	22.70	23.70	21.70	23.80
Na ₂ O	0.23	0.43	0.30	0.44	0.25	0.29	0.46	0.40	0.55
K ₂ O	0.45	0.26	0.18	0.27	0.48	0.19	0.09	0.28	0.08
P ₂ O ₅	0.32	0.27	0.32	0.31	0.22	0.30	0.17	0.26	0.32
烧失量	1.80	5.27	1.82	1.73	0.49	1.24	3.51	2.24	4.15
总量	94.57	99.99	99.72	99.81	99.41	99.38	98.91	99.72	99.63
$w_B/10^{-6}$									
Rb	232.00	58.00	47.10	78.80	130.50	51.50	18.10	77.60	24.70
Ba	17.90	34.20	25.00	33.40	49.80	17.10	12.00	32.50	6.20
Th	7.63	4.21	17.15	5.30	3.08	5.61	3.61	6.71	8.02
U	1.85	2.33	2.75	2.13	1.37	1.47	2.22	1.63	1.89
Ta	2.60	1.40	1.70	2.00	1.40	2.10	1.30	2.40	2.20
Nb	42.80	27.60	28.70	28.90	20.00	32.90	19.50	33.60	34.70
Sr	2540.00	682.00	1640.00	2270.00	1340.00	1615.00	399.00	1750.00	1455.00
Hf	8.20	4.20	5.90	6.80	4.30	6.10	3.60	6.90	6.30
Zr	329.00	164.00	228.00	253.00	160.00	213.00	133.00	238.00	231.00
Cu	1820.00	226.00	<5.00	7.00	173.00	<5.00	55.00	34.00	19.00
Co	40.60	36.80	24.30	39.90	26.80	24.30	28.70	32.30	26.40
Ni	27.00	57.00	24.00	37.00	15.00	20.00	101.00	43.00	27.00
Sn	195.00	244.00	261.00	160.00	165.00	200.00	439.00	186.00	378.00
Pb	<5.00	5.00	7.00	5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	7.00
Zn	318.00	255.00	179.00	184.00	201.00	223.00	198.00	261.00	190.00
Y	33.60	20.20	30.00	25.40	22.40	28.40	12.70	27.80	32.60
Zr/Hf	40.12	39.05	38.64	37.21	50.19	52.89	36.94	34.49	36.67
Nb/Ta	16.46	19.71	16.88	14.45	8.42	6.43	15.00	14.00	15.77
Th/U	4.12	1.81	6.24	2.49	2.25	3.82	1.63	4.12	4.24
Rb/Sr	0.09	0.09	0.03	0.03	0.35	0.43	0.05	0.04	0.02
K/Rb	16.24	37.20	31.71	28.43	30.52	30.61	41.26	29.94	26.88
Zr/Ti	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
La	13.00	23.40	40.60	14.90	4.80	8.50	9.30	9.80	19.70
Ce	38.80	49.20	107.50	37.80	15.40	25.50	21.50	27.10	48.30
Pr	5.88	6.41	14.30	5.62	2.50	4.06	2.64	4.01	6.34
Nd	26.60	25.90	55.40	24.10	12.80	20.00	11.30	18.60	27.90
Sm	6.31	5.51	10.15	5.72	3.49	5.34	2.67	4.95	6.68
Eu	0.96	1.10	1.39	0.93	0.49	0.83	0.53	0.65	0.96
Gd	6.41	5.56	9.72	5.51	3.25	5.39	2.63	5.09	6.58
Tb	1.08	0.77	1.27	0.84	0.60	0.96	0.45	0.85	1.10
Dy	6.26	4.78	7.20	5.54	3.78	5.60	2.67	5.32	6.20
Ho	1.26	0.88	1.31	1.10	0.76	1.09	0.47	1.05	1.28
Er	3.79	2.65	3.78	3.36	2.26	3.11	1.27	3.03	3.55
Tm	0.59	0.38	0.55	0.52	0.28	0.42	0.15	0.40	0.49
Yb	3.61	2.37	3.11	3.11	1.85	2.63	0.89	2.71	3.04
Lu	0.53	0.33	0.42	0.44	0.26	0.34	0.13	0.35	0.42
ΣREE	115.08	129.24	256.70	109.49	52.52	83.77	56.60	83.91	132.54
δEu	0.46	0.61	0.43	0.51	0.45	0.47	0.61	0.40	0.44
δCe	1.09	0.99	1.09	1.01	1.09	1.06	1.06	1.06	1.06
LREE/HREE	3.89	6.29	8.38	4.36	3.03	3.29	5.54	3.46	4.85
(La/Yb) _N	2.58	7.09	9.37	3.44	1.86	2.32	7.50	2.60	4.65
(La/Sm) _N	3.72	1.14	3.50	0.74	1.85	0.86	4.04	0.49	6.02
(Gd/Yb) _N	0.95	2.47	1.26	1.40	1.25	1.63	1.81	1.04	2.08

续表 1

对照		新山层状透辉 石岩平均	新山变碱性玄 武岩平均(6) ^②	新山透辉石夕 卡岩平均(5) ^②	新山花岗岩 平均(5) ^②	新山围岩 地层平均(8) ^②
$w_B / \%$	SiO ₂	44.76	42.05	38.38	76.24	9.38
	TiO ₂	1.53	1.29	0.09	0.14	0.04
	Al ₂ O ₃	11.68	11.01	18.67	13.22	1.27
	Fe ₂ O ₃ ^①	7.22	13.78	10.37	0.54	2.56
	MnO	0.48	0.39	1.48	0.02	0.43
	MgO	7.04	5.81	0.12	0.12	1.31
	CaO	21.13	11.85	29.10	0.59	48.80
	Na ₂ O	0.30	<0.01	0.14	3.09	0.08
	K ₂ O	0.37	0.18	0.08	4.72	0.07
	P ₂ O ₅	0.30	0.28	0.04	0.03	0.07
	烧失量	3.00	11.45	1.09	0.88	34.10
	总量	97.79	98.09	99.56	99.59	98.11
$w_B / 10^{-6}$	Rb	95.24	21.90	19.30	468.33	8.40
	Ba	45.09	2.75	9.30	16.70	67.20
	Th	8.37	4.14	49.00	38.47	0.52
	U	2.27	2.14	12.25	19.07	2.43
	Ta	2.09	0.95	22.10	9.80	0.10
	Nb	33.66	13.65	85.60	42.77	0.70
	Sr	1913.05	206.25	190.00	44.97	5830.00
	Hf	6.72	2.85	6.60	4.90	0.50
	Zr	260.58	120	112.00	89.67	20.00
	Cu	1447.93	1958	39.00	75.33	802.00
	Co	37.47	22.5	100.50	92.77	9.40
	Ni	52.11	9.00	<5.00	6.00	15.00
	Sn	243.16	2760	158.00	5.67	108.00
	Pb	7.10	7.5	3710.00	551.00	6.00
	Zn	490.79	689.5	84.00	28.33	70.00
	Y	32.57	42.2	126.50	51.73	3.60
	Zr/Hf	41.01	42.11	16.97	18.30	40.00
	Nb/Ta	14.80	14.37	3.87	4.36	7.00
	Th/U	3.68	1.93	4.00	2.02	0.21
	Rb/Sr	0.11	0.11	0.10	10.42	0.00
	K/Rb	29.96	68.2	34.40	83.57	69.15
	Zr/Ti	0.02	0.02	0.21	0.10	0.08
	La	30.17	47.7	49.30	18.67	8.21
	Ce	64.89	106.5	97.20	53.63	15.80
	Pr	8.02	12.95	12.15	5.74	1.84
	Nd	32.18	51.6	52.20	21.77	7.13
	Sm	6.88	10.75	16.30	6.94	1.34
	Eu	1.15	3.19	0.29	0.19	0.43
	Gd	7.05	10.4	15.95	6.99	1.33
	Tb	1.09	1.67	3.30	1.42	0.18
	Dy	6.32	8.79	19.85	8.77	1.07
	Ho	1.25	1.65	4.17	1.79	0.20
	Er	3.61	4.53	12.55	5.39	0.59
	Tm	0.53	0.61	2.06	0.87	0.07
	Yb	3.22	3.79	14.15	5.92	0.44
	Lu	0.46	0.53	2.06	0.89	0.06
ΣREE	166.84	264.66	301.53	138.98	38.70	
δEu	0.51	0.92	0.05	0.08	0.97	
δCe	1.04	1.03	0.96	1.25	1.00	
LREE/HREE	5.83	7.28	3.07	3.34	8.81	
(La/Yb) _N	6.42	8.49	2.35	2.12	13.28	
(La/Sm) _N	2.46	4.44	1.90	1.69	4.01	
(Gd/Yb) _N	1.54	2.74	0.91	0.95	2.48	

注: ① Fe₂O₃ 为全铁含量; ② 括号中数字为样品数, 数据未发表; 测试者: 胡静, 包广萍; 球粒陨石和原始地幔标准化采用 Sun 等 (1989)^[39].

同时,本次研究还分析了与新山层状透辉石岩呈互层产出的大理岩的稀土元素特征,其稀土元素分析结果显示 Σ REE 均值为 38.71(19.45 ~ 68.14),轻稀土和重稀土分异较大,LREE/HREE 均值为 8.79(5.96 ~ 14.56), La_N/Yb_N 均值为 12.46(表2)。值得注意的是,大理岩的稀土元素配分模式中 Eu 异常有正有负,且在同一个剖面中,靠近层状透辉石岩一侧的大理岩的稀土元素显示 Eu 正异常,而远离透辉石岩一侧大理岩显示 Eu 负异常。

CIPW 标准矿物计算结果显示,新山层状、似层状透辉石岩中透辉石含量为 45.26% ~ 62.81%,平均 50.22%;钙长石含量为 10.4% ~ 41.22%,平均为 31.20%;钛铁矿含量为 1.57% ~ 4.04%,平均为 3.07%(表3),总体上表现了偏基性的特征。

进一步对新山层状透辉石岩中次透辉石及新

山典型透辉石夕卡岩中钙铁辉石进行电子探针分析,结果显示,新山层状透辉石岩中次透辉石 $w(SiO_2)$ 变化范围为 49.49% ~ 52.85%,平均为 51.30%; $w(CaO)$ 21.54% ~ 24.31%,均值 23.20%; $w(TFe)$ 12.58% ~ 15.31%,均值 14.14%; $w(MgO)$ 7.37% ~ 9.96%,均值 8.46%; $w(MnO)$ 1.01% ~ 1.89%,均值 1.56%。

而产于矿区花岗岩体与碳酸盐岩地层接触带的透辉石夕卡岩中钙铁辉石 $w(SiO_2)$ 变化范围为 48.03% ~ 50.27%,平均为 49.37%; $w(CaO)$ 19.73% ~ 23.08%,均值 21.40%; $w(TFe)$ 22.22% ~ 25.78%,均值 24.46%; $w(MgO)$ 1.08% ~ 3.20%,均值 1.90%; $w(MnO)$ 1.81% ~ 2.54%,均值 2.19%(表4)。

可见,新山层状透辉石岩和新山典型透辉石夕卡岩矿物组成成分属不同系列,前者高 Mg 低 Fe,后者低 Mg 高 Fe。

表2 新山大理岩稀土元素($\mu g/g$)组成

Table 2. REE ($\mu g/g$) compositions of marbles in Xinshan

样品	XSP1-2A	XSP1-6	XSP1-6A	XSP1-13y	XSP1-17	XSP1-19	平均
La	8.70	7.70	11.10	5.30	7.80	12.30	8.82
Ce	16.40	12.20	20.60	10.10	15.70	27.00	17.00
Pr	2.12	1.45	2.49	1.09	1.68	3.13	1.99
Nd	8.30	5.10	9.40	4.20	6.70	12.80	7.75
Sm	1.70	0.87	1.69	0.73	1.25	2.65	1.48
Eu	0.52	0.37	1.02	0.13	0.31	0.47	0.47
Gd	1.71	0.75	1.56	0.70	1.27	2.81	1.47
Tb	0.24	0.09	0.17	0.10	0.19	0.42	0.20
Dy	1.47	0.49	0.80	0.64	1.01	2.73	1.19
Ho	0.28	0.09	0.14	0.12	0.17	0.54	0.22
Er	0.84	0.26	0.41	0.35	0.48	1.57	0.65
Tm	0.11	0.04	0.05	0.03	0.04	0.22	0.08
Yb	0.72	0.23	0.35	0.19	0.26	1.32	0.51
Lu	0.10	0.03	0.05	0.01	0.02	0.18	0.07
Y	7.10	2.40	3.60	4.40	6.10	15.10	6.45
Σ REE	43.21	29.67	49.83	23.69	36.88	68.14	41.9
δ Eu	0.93	1.40	1.92	0.56	0.75	0.53	0.97
δ Ce	0.92	0.88	0.94	1.01	1.04	1.05	0.99
LREE/HREE	6.90	13.98	13.12	10.07	9.72	5.96	8.54
(La/Yb) _N	8.15	22.57	21.38	18.81	20.23	6.28	12.36
(La/Sm) _N	5.12	8.85	6.57	7.26	6.24	4.64	3.84
(Gd/Yb) _N	2.38	3.26	4.46	3.68	4.88	2.13	2.37

注:球粒陨石标准化采用 Sun 等(1989)。

表3 新山透辉石岩 CIPW 标准矿物计算结果($w_B/\%$)

Table 3. The CIPW values of diopsides in Xinshan

样品号	09XSP1-2	09XSP1-3	09XSP2-4B	09XSP4-1	09XSP4-2	09XSP4-3	09XSP4-4	09XSP4-5	09XSP4-9
石英(Q)	0.00	1.45	0.00	0.64	0.92	3.66	1.91	3.69	1.31
钙长石(An)	38.42	34.9	37.55	38.96	33.72	36.29	38.42	18.13	40.57
钠长石(Ab)	0.00	0.86	0.00	2.04	2.04	1.43	2.41	1.62	2.32
正长石(Or)	0.00	0.87	0.00	1.43	1.67	1.12	2.30	15.20	2.30
霞石(Ne)	1.95	0.00	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
白榴石(Lc)	0.87	0.00	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
透辉石(Di)	45.28	52.07	48.96	47.14	50.50	48.81	47.10	45.49	45.26
紫苏辉石(Hy)	0.00	1.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	5.83	0.00
硅灰石(Wo)	0.00	0.00	0.00	3.12	4.26	1.76	0.00	0.00	1.56
橄榄石(Ol)	0.41	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
斜硅钙石(Cs)	6.62	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
钛铁矿(Il)	3.78	3.47	3.63	3.59	3.69	3.54	3.72	2.42	3.82
磁铁矿(Mt)	1.67	3.52	1.72	2.07	2.27	2.39	2.24	6.72	1.80
磷灰石(Ap)	0.75	0.79	0.69	0.83	0.76	0.85	0.86	0.85	0.85
锆石(Zr)	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07
铬铁矿(Cm)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03
合计	99.84	99.96	99.91	99.93	99.92	99.93	99.92	100.04	99.89

样品号	09XSP5-2	09XSP5-3A	XSP1-3	XSP1-4	XSP1-5	XSP1-10	XSP1-12	XSP1-14	XSP1-15	XSP1-16
石英(Q)	0.00	0.00	0.00	2.26	0.00	1.33	1.75	0.44	0.90	0.00
钙长石(An)	41.22	39.90	19.73	28.28	28.80	20.56	27.54	10.40	29.75	29.58
钠长石(Ab)	0.00	0.00	0.00	2.60	0.84	2.15	2.51	4.11	3.49	0.00
正长石(Or)	0.13	0.00	0.00	1.09	1.63	2.88	1.15	0.56	1.70	0.00
霞石(Ne)	0.90	1.14	2.09	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65
白榴石(Lc)	0.60	2.27	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
透辉石(Di)	46.50	42.75	48.75	57.40	54.45	64.01	50.76	62.81	50.88	45.32
紫苏辉石(Hy)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
硅灰石(Wo)	3.28	3.22	0.00	2.17	6.86	3.81	9.63	15.15	7.00	14.73
橄榄石(Ol)	0.00	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
斜硅钙石(Cs)	0.00	3.69	21.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45
钛铁矿(Il)	3.40	4.04	2.24	2.45	2.54	2.04	2.84	1.57	2.52	3.12
磁铁矿(Mt)	3.08	2.01	2.92	2.86	2.38	2.63	2.99	4.52	3.02	2.87
磷灰石(Ap)	0.72	0.79	0.66	0.76	0.73	0.52	0.71	0.42	0.62	0.78
锆石(Zr)	0.05	0.07	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05
铬铁矿(Cm)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
合计	99.91	99.91	100.00	99.95	99.92	99.97	99.94	100.04	99.95	99.97

注: CIPW 标准矿物由路远发设计的 GeoKit 软件计算获得, 其由 Kurt Holocher 设计的 Excel 表格计算, 略有修改, 用 Le Maitre (1976) 方法按火山岩调整氧化铁; 氧化物在去 H_2O 等以后重换算为 100%.

表4 次透辉石和钙铁辉石矿物电子探针分析结果表($w_B/\%$)

Table 4. Chemical compositions of sahlite and hedenbergite analyzed with EMPA

样品	矿物	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	总量
XSP1-12-1		8.40	0.23	50.60	22.78	0.00	1.56	14.40	0.06	0.01	0.02	98.04
XSP1-12-2		8.28	0.18	50.48	23.57	0.00	1.39	14.39	0.04	0.00	0.03	98.35
XSP1-12-3		8.53	0.13	49.99	23.47	0.00	1.66	14.88	0.02	0.01	0.01	98.70
XSP1-12-4		7.58	0.46	49.49	23.82	0.04	1.62	14.84	0.06	0.00	0.55	98.45
XSP1-12-5		8.68	0.28	51.12	23.20	0.00	1.23	13.94	0.02	0.00	0.00	98.47
XSP1-12-6		9.96	0.71	52.01	24.14	0.00	1.01	12.58	0.09	0.01	0.01	100.52
XSP1-12-7		8.26	0.20	51.02	23.94	0.05	1.47	14.13	0.07	0.00	0.02	99.15
XSP1-12-8		8.84	0.19	51.98	24.31	0.00	1.53	13.17	0.04	0.00	0.03	100.07
XSP1-12-9	新山层状透	7.37	0.26	51.18	22.22	0.01	1.67	15.31	0.08	0.00	0.00	98.10
XSP1-14-1	辉石岩中次	9.34	0.27	51.00	21.54	0.02	1.77	14.59	0.00	0.00	0.00	98.52
XSP1-14-2	透辉石	9.46	0.32	51.92	22.69	0.03	1.31	13.51	0.02	0.00	0.00	99.25
XSP1-14-3		8.88	0.39	51.15	23.41	0.05	1.59	13.31	0.05	0.00	0.00	98.84
XSP1-14-4		8.20	0.26	51.78	23.65	0.01	1.58	14.35	0.03	0.00	0.01	99.86
XSP1-14-5		8.55	0.06	51.72	23.10	0.05	1.88	13.98	0.02	0.01	0.01	99.38
XSP1-14-6		8.20	0.21	52.10	23.70	0.00	1.89	14.17	0.03	0.00	0.02	100.33
XSP1-14-7		8.03	0.55	50.98	23.13	0.01	1.51	14.55	0.05	0.01	0.03	98.84
XSP1-14-8		8.13	0.17	51.39	22.45	0.00	1.58	14.52	0.05	0.00	0.09	98.37
XSP1-14-9		8.26	0.51	51.87	22.80	0.03	1.68	13.70	0.06	0.00	0.12	99.03
XSP1-14-10		7.89	0.32	52.85	22.96	0.01	1.70	14.29	0.04	0.00	0.05	100.12
XSG-4B-1		1.09	0.44	49.39	22.87	0.00	2.15	24.34	0.04	0.00	0.00	100.30
XSG-4B-2		1.78	0.39	49.77	21.69	0.02	2.20	25.72	0.08	0.00	0.01	101.66
XSG-4B-3		3.20	0.47	49.73	22.65	0.03	1.94	22.22	0.04	0.01	0.02	100.31
XSG-4B-4		2.60	0.60	49.81	20.93	0.02	2.25	23.50	0.02	0.01	0.00	99.73
XSG-4B-5	新山岩体接	1.26	0.30	48.44	21.03	0.02	2.31	25.29	0.06	0.00	0.00	98.71
XSG-4B-6	触带透辉石	1.08	0.37	48.03	20.82	0.04	2.54	25.78	0.05	0.00	0.02	98.71
XSG-4B-7	夕卡岩中钙	1.96	0.07	49.69	21.39	0.03	2.25	25.17	0.08	0.00	0.00	100.64
XSG-4B-8	铁辉石	2.93	1.07	49.37	23.08	0.01	1.81	22.64	0.03	0.00	0.01	100.93
XSG-4B-9		1.96	0.15	49.61	19.73	0.00	2.25	24.87	0.02	0.00	0.00	98.59
XSG-4B-10		2.08	0.63	49.98	20.63	0.03	2.19	24.06	0.05	0.00	0.03	99.68
XSG-4B-11		2.39	0.01	50.27	21.78	0.02	2.31	22.94	0.00	0.00	0.01	99.72
XSG-4B-12		1.28	0.39	48.81	21.39	0.05	2.04	25.76	0.11	0.00	0.00	99.83
XSG-4B-13		1.10	0.35	48.90	20.23	0.01	2.29	25.75	0.09	0.00	0.02	98.72

4 讨论

4.1 热水沉积岩和热水交代岩

热水沉积岩又称为喷流岩,它是地球内部热水流体进入海/湖盆水体由化学或生物化学沉积作用所形成的岩石。热水沉积岩的研究已成为当今地学研究的前沿热点之一。热水沉积岩种类繁多,主要与热水活动环境、温度压力等物理化学条件有关。根据热水活动环境,可以分为海相与陆相环境。海相环境以海水及岩浆水为主要热水流体来源,陆相环境以天水、建造水及岩浆水为热水流体来源。由于流体原始来源环境不同,其成分就会有较大差别^[40]。

热水交代蚀变岩石也是热水体系中一种广泛存在的岩石类型,尤其是在高温热水活动区,可

以交代泥质、钙泥质沉积物形成热水交代沉积岩,包括方柱石黑云母岩、透辉石透闪石岩、夕卡岩、绿泥石岩等^[40-50]。热水交代岩石与热水沉积岩呈互层或夹层存在,一般为层状或透镜状。

4.2 新山层状透辉石岩的成因探讨

根据前人的研究,个旧锡矿区在印支期拉张裂谷环境下,伴随海底碱性玄武质火山岩的喷发,存在有广泛的热水喷流作用^[27-37,51]。同时,也必然会有大量热水沉积岩和热水交代岩的形成。由于矿区在燕山晚期花岗岩浆侵入活动强烈,岩体规模较大,受传统观点的束缚,前人没有对新山层状透辉石岩进行深入的考察和研究,没有把新山层状透辉石岩与矿区岩体接触带钙铁辉石夕卡岩区分开来。

表 5 新山层状透辉石岩与新山透辉石夕卡岩地质地球化学特征对比表

Table 5. Geological and geochemical characteristics contrasts between stratiform diopside rocks and diopside skarn in Xinshan

岩性	产状	颜色	矿物粒度/mm	组构特征	矿物组成	地球化学特征
层状透辉石岩	层状、似层状、透视镜体产在地层层间,具明显层控特征	浅绿色	0.02~0.05	间粒间隐结构,具矿区碱性玄武岩的残留结构,发育条带状、纹层状硫化物	主要为次透辉石,含量大于 50%,其次为钙长石等	高 Ti、Mg、P 相对富集 Ba、Rb、Sr、Cu、Ni 等
透辉石夕卡岩	不规则状,产于岩体与碳酸盐岩地层接触带	黑绿色	1~5	显晶粒状结构,块状构造	主要为钙铁辉石,含量大于 65%,其次为透闪石、石榴石和硅灰石等	高 Al,低 Ti、Mg、P,相对亏损 Ba、Rb、Sr、Cu、Ni 等

研究表明,新山层状、似层状透辉石岩具有明显的层控特征,其中发育具条带状和纹层状硫化物,其结构构造和矿物组成均显示了热水交代岩的基本特征。主要矿物透辉石为次透辉石,而矿区典型透辉石夕卡岩中为钙铁辉石;其元素地球化学特征显示为高 Ti、Mg、P 等,而矿区碳酸盐岩地层及花岗岩体均不足以提供足够的 Ti 和 Mg;与矿区典型透辉石夕卡岩相比,新山层状、似层状透辉石岩中 Ti 富集了 15 倍,Mg 富集了 70 倍,P 富集了 7 倍,Cu、Sn 等成矿元素也有不同程度的富集,表明两者具有不同的形成环境及成因。对比显示(表 5),新山层状、似层状透辉石岩与矿区变碱性玄武岩产状一致,部分似层状透辉石岩以夹层或透视镜体存在于变碱性玄武岩中,继承了变碱性玄武岩高 Ti、Mg、P 等特征,且两者具有极其相似的微量元素和稀土元素特征(图 7)。表明新山层状透辉石岩的原岩很可能就是印支期海底喷发的碱性玄武岩,而同生沉积组构的发育,表明碱

性玄武岩向透辉石岩的转变很可能是由印支期海底火山活动引起的热水交代蚀变作用所致,而不是燕山晚期花岗岩浆热液改造形成。当然,电气石脉的发育,表明新山层状、似层状透辉石岩可能受到了燕山期花岗岩浆热液一定程度的改造。

综上地质及地球化学特征,我们对新山层状、似层状透辉石岩的成因给出如下解释:新山层状、似层状透辉石岩的原岩很可能就是印支期喷发的碱性玄武岩。同时,由于受到同期沉积环境的影响,Ca、Sr 等元素迁入,使新山层状、似层状透辉石岩相比于原岩(即印支期碱性玄武岩)具有高 Ca、高 Sr 的特征。由于印支期碱性玄武岩为多幕次幕式喷发,在喷发的间隙期,火山热液交代了已喷发的碱性玄武岩和正常沉积的部分碳酸盐岩。在此过程中,碱性玄武岩在受热水交代的同时接受沉积环境中的 Ca 和 Sr 等最终形成透辉石岩,同期沉积的部分碳酸盐岩也发生了大理岩化作用。而碱性玄武岩中的斜长石在向透辉石的转化

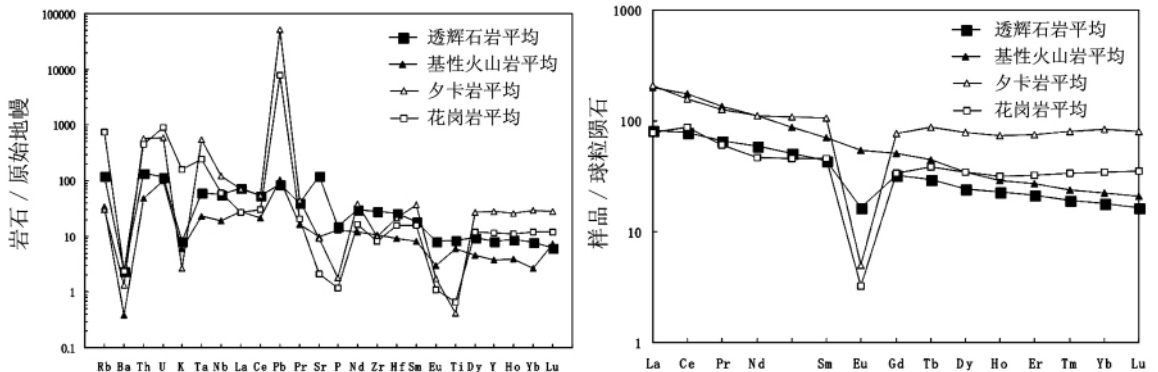


图 7 新山不同岩石微量元素蛛网图及稀土元素配分模式图(Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 7. Primitive mantle normalized spider diagrams and chondrite-normalized

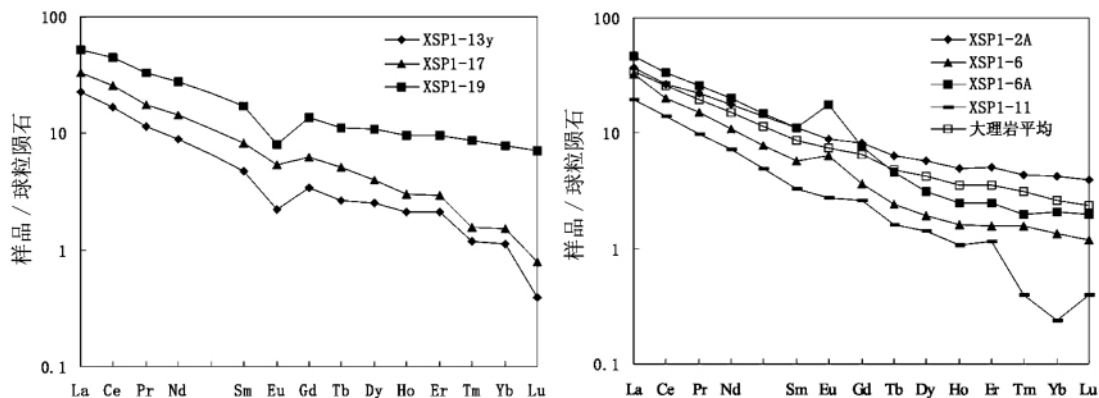


图8 与新山层状透辉石岩互层产出的大理岩稀土元素分配模式图(Sun和McDonugh,1989)

Fig. 8. chondrite-normalized REE patterns of marbles in Xinshan.

过程中则发生Eu的丢失,致使形成的层状透辉石岩的稀土元素配分模式相比于变碱性玄武岩呈现更大的Eu负异常。而此过程中丢失的Eu则进入同期热水沉积成因的大理岩中,造成部分同期形成的大理岩稀土配分模式显示Eu的正异常,而没有接受到丢失Eu加入的大理岩仍显示Eu负异常(图8)。在燕山晚期,伴随花岗岩浆的上侵,电气石脉发育,并且穿切了部分层状透辉石岩,表明燕山晚期花岗岩浆热液可能对其造成不同程度的改造。

尽管越来越多的学者提出并论证了个旧锡矿区存在海底喷流沉积成矿的认识^[26-37],但是他们只基于众多的层状和似层状矿体和发现胶状和鲕状黄铁矿矿石结构,以及具有条带状构造和藻类化石等证据,以致受到部分学者的质疑^[19]。新山层状、似层状透辉石岩的发现,为个旧锡矿区存在海底喷流沉积成矿作用提供了又一有力证据。

5 结论

(1) 新山矿区发育2套透辉石岩:一种产于矿区上部三叠系碳酸盐岩地层层间,呈层状、似层状产出,部分以夹层和透镜体存在于矿区变碱性玄武岩中,局部发育杏仁结构,主要矿物为次透辉石。另一种则产在新山岩体边部,与新山花岗岩密切相关,明显具接触交代特征,主要矿物为钙铁辉石,属钙铁系列,应为钙铁透辉石夕卡岩。两者

矿物组成不同,成因也存在差异。

(2) 新山层状、似层状透辉石岩野外地质产状及结构构造均与新山矿区变碱性玄武岩极为相似,都具有明显的层控特征和显微结构,而明显有别于产在新山岩体与围岩接触带的透辉石夕卡岩。新山层状、似层状透辉石岩具高Ti、Mg、P,相对富集Ba、Rb、Sr、Cu、Ni等特征,而矿区碳酸盐岩地层及花岗岩体均不足以提供足够的Ti和Mg;与新山典型透辉石夕卡岩相比,新山层状、似层状透辉石岩中Ti富集了15倍,Mg富集了70倍,P富集了7倍。然而,新山层状、似层状透辉石岩的这些元素组成特征与新山印支期变碱性玄武岩极为相似,表明新山层状、似层状透辉石岩可能是印支期碱性玄武岩被同期热水交代蚀变的产物,属热水交代蚀变岩,而产在花岗岩体与围岩接触带的透辉石夕卡岩应为岩浆热液成因,同时,矿区与层状透辉石岩呈互层产出的部分大理岩也可能是同期热水交代岩。

致谢:在个旧矿区的野外工作期间,得到云锡公司武俊德总工程师、卡房矿部钟定浩工程师、老厂矿部王海云高级工程师、朱华全高级工程师、李彬高级工程师、高瑞工程师、松树脚矿区朱文捷高级工程师、胡勇工程师、陈杰工程师以及矿山其他工作人员的大力协助。成文过程中得到周家喜博士和张建光博士的帮助。在此向他们深表感谢。

参 考 文 献:

- [1] 邓玉书. 云南个旧锡矿和构造的关系[J]. 地质论评, 1951, 16(2): 57-66.
- [2] 刘锦新, 李希勤. 云南个旧锡矿的特点及成矿规律[J]. 地质学报, 1957, 37(4): 373-399.
- [3] 冯贤仁. 个旧含锡花岗岩副矿物类型、成因及与矿化关系[J]. 云南地质, 1982, 1(1): 129-130.
- [4] 汪志芬. 关于个旧锡矿成矿作用的几个问题[J]. 地质学报, 1983, 57(2): 154-163.
- [5] 云南省有色地质局 308 队等. 个旧锡矿地质[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984: 50-172.
- [6] 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含锡花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究[J]. 地球化学, 1984, 4(4): 293-302.
- [7] 伍勤生, 刘青莲. 个旧含锡花岗岩杂岩体的成因演化及成矿[J]. 桂林工学院学报, 1986, 6(6): 229-238.
- [8] 彭程电. 试论个旧锡矿成矿条件及矿床类型、模式[J]. 云南地质, 1985, 4(4): 154-163.
- [9] 李家和. 个旧锡矿花岗岩特征及成因研究[J]. 云南地质, 1985, 4(4): 328-352.
- [10] 王新光, 朱金初, 沈渭洲. 个旧锡矿田两个主要成矿花岗岩的对比研究及其地质和找矿意义[J]. 南京大学学报(地球科学版), 1990, 4: 66-75.
- [11] 王新光, 朱金初. 个旧花岗岩的成因、演化及其意义[J]. 大地构造与成矿学, 1992, 16: 379-387.
- [12] 朱金初, 王新光, 殷成玉. 个旧锡矿区不同岩石中锡的富集特征及成矿模式[J]. 地质找矿论丛, 1991, 6(2): 11-16.
- [13] 李增荣. 卡房玄武岩铜矿地质特征[J]. 地球化学, 1991, 2(2): 170-177.
- [14] 戴福盛. 个旧矿区壳源重熔岩浆岩岩石系列特征、演化及其成矿作用[J]. 云南地质, 1996, 15: 330-344.
- [15] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡铜多金属矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1996: 1-145.
- [16] Jiang Zhuwei, Nicholas H S, Oliver T, Barr D, et al. Numerical modeling of fault-controlled fluid flow in the genesis of tin deposits of the Malage ore field, Gejiu mining district [J]. *Economic Geology*, 1997, 92: 228-247.
- [17] 李玉新. 老厂湾子街矿段锡铜富矿体地质特征及找矿方向研究[J]. 矿产与地质, 2000, 14(3): 188-190.
- [18] 王永磊, 裴荣富, 李进文, 等. 个旧老厂矿田花岗岩地球化学特征及其形成构造背景[J]. 地质学报, 2007, 81: 979-985.
- [19] 毛景文, 程彦博, 郭春丽, 等. 云南个旧锡矿田: 矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1455-1467.
- [20] 程彦博, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧锡矿田碱性岩和煌斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1138-1149.
- [21] 程彦博, 毛景文, 谢桂青, 等. 云南个旧老厂-卡房花岗岩体成因: 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学约束[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1478-1493.
- [22] 程彦博, 毛景文, 谢桂青, 等. 与云南个旧超大型锡矿床有关的花岗岩锆石 U-Pb 年代及意义[J]. 矿床地质, 2009, 3: 297-312.
- [23] Cheng Yanbo, Mao Jingwen. Age and geochemistry of granites in Gejiu area, Yunnan province, SW China: Constraints on their petrogenesis and tectonic setting [J]. *Lithos*, 2010, 120: 258-276.
- [24] 罗君烈. 滇东南锡、钨、铅、锌、银矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 1995, 14: 319-332.
- [25] 郑庆鳌, 杨涤生. 云南个旧锡多金属矿成矿演化与成矿模式[J]. 有色金属矿产与勘查, 1997, 6(2): 82-87.
- [26] 周怀阳. 论个旧一大厂地区火山喷气沉积—花岗岩热液叠加改造型锡硫化物矿床的地质特征及其成矿地质条件[D]. 博士研究生论文. 南京: 南京大学, 1988.
- [27] 周建平, 徐克勤. 滇东南锡多金属矿床成因商榷[J]. 云南地质, 1997, 16(4): 309-349.
- [28] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 滇东南喷流沉积块状硫化物特征与矿床成因[J]. 矿物学报, 1998, 18(2): 158-168.
- [29] 周建平, 徐克勤, 华仁民, 等. 个旧等锡矿中沉积组结构的发现与矿床成因新探[J]. 自然科学进展, 1999, 9(9): 419-422.
- [30] 张欢, 高振敏, 马德云, 等. 云南个旧锡矿床成因研究综述[J]. 地质地球化学, 2003, 31(3): 70-75.
- [31] 张欢, 高振敏, 马德云, 等. 个旧锡多金属硫化物矿床铅同位素组成特征及其成因意义[J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 149-152.
- [32] 张欢, 童祥, 等. 个旧锡矿——红海型热水沉积登陆的实例[J]. 矿物学报, 2007, 4(4): 335-341.
- [33] 秦德先, 黎应书, 谈树成, 等. 云南个旧锡矿的成矿时代[J]. 地质科学, 2006a, 41: 122-132.
- [34] 秦德先, 黎应书, 范国柱, 等. 个旧锡矿地球化学及成矿作用演化[J]. 中国工程科学, 2006b, 8(8): 30-39.
- [35] 秦德先, 黎应书, 等. 个旧锡铜多金属矿床地质研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-171.
- [36] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 云南个旧锡矿的玄武岩成矿[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(3): 326-335.
- [37] 黎应书, 秦德先, 程细音, 等. 个旧锡矿区印支期喷流热水沉积成矿的证据[J]. 有色金属, 2009, 61(3): 119-125.
- [38] 莫国培. 个旧超大型锡多金属矿区内花岗岩成因类型[J]. 矿产与地质, 2006, 20: 413-417.
- [39] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society London Special Publications*, 1989, 42: 313-345.
- [40] 肖荣阁, 张汉城, 等. 热水沉积岩及矿物岩石标志[J]. 地学前缘, 2001, 8(8): 379-385.
- [41] 薛春纪, 祁思敬, 隋合明. 基础矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 120-129.
- [42] 陈先沛, 祁思敬. 热水沉积成矿作用[A]. 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室著. 矿床地球化学[M]. 北京: 地质出版社,

1997: 248-265.

- [43] Maria I, Rosana B-T. Chemical reaction path modeling of hydrothermal mineralization in the Tongonan geothermal field, Leyte (Philippines) [J]. *Geothermics*, 2004, 33: 143-179.
- [44] 陈多福, 陈先沛, 陈光谦, 等. 热水沉积作用与成矿效应[J]. *地质地球化学*, 1997 (4): 7-12.
- [45] 杨斌, 刘兴德, 刘建明. 广西佛子冲铅锌矿田两种矿石类型及其成因意义[J]. *桂林工学院学报*, 2004, 22(2): 109-114.
- [46] 徐林刚, 杨富全, 李建国, 等. 新疆富蕴县蒙库铁矿地质地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2007, 23(10): 2653-2664.
- [47] 金章东, 李英, 朱金初. 霍各乞铜多金属矿区热水沉积岩类初探[J]. *内蒙古地质*, 1997 (2): 22-28.
- [48] 姚鹏, 郑明华, 彭勇民, 等. 西藏冈底斯岛弧带甲马铜多金属矿床成矿物质来源及成因研究[J]. *地质论评*, 2002, 48(5): 468-479.
- [49] Stanton R L. Stratiform ores and metamorphic processes—Some thoughts arising from Broken Hill [Z]. Broken Hill Conference, 1983: 11-28.
- [50] Hutchinson R W. Massive sulphide deposits and their possible significance to other ores in Southeast Asia [J]. *Geol Soc Malaysia Bulletin*, 1986, 19: 1-22.
- [51] 彭张翔. 个旧锡矿成矿模式商榷[J]. *云南地质*, 1992, 11: 362-368.

Geology, Geochemistry and Genesis of Xinshan stratiform Diopside rocks in Gejiu, Yunnan

QIAN Zhi-kuan^{1,2}, LUO Tai-yi¹, HUANG Zhi-long¹, TONG Xiang³,
YANG Bao-fu³, Yang Wen-bao³, Lu Rong-yu³

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Group Company of Stannary Gejiu in Yunnan, Gejiu 661000, China)

Abstract: Most of Xinshan bedded and Quasi-bedded diopside rocks, with light green color, present in the interlayer of carbonate formation at the top of Xinshan granites. The most abundant mineral of the diopside rocks is sahlite, whose content is over 50%. The second abundant mineral is anorthite, whose granularity are small and with cryptocrystalline texture. However, the main mineral of typical diopside skarn in this mine area in the contact zone between Xinshan granites and carbonate formation is hedenbergite, with content over 65%. The relatively lesser abundant minerals are tremolite, garnet and wollastonite, which have coarser grain size and crystalline structure. Xinshan bedded and Quasi-bedded diopside rocks have high Mg, Ti, and P, are enriched in Sr and LILE (Rb, Th, U), with different depletion in Ba and K, showing a LREE-enriched pattern, and Eu is minor anomaly with δEu of 0.40 ~ 0.61. The characteristics of trace elements and REE in Xinshan bedded and Quasi-bedded diopside rocks are similar to those of alkali-basalts in the mine area, which is obviously different from granites and typical diopside skarn in Xinshan. Geological, petrological and geochemical studies show that the protolith of Xinshan bedded and Quasi-bedded diopside rocks may well be the Indo-Chinese Epoch alkali-basalts, and the origin mechanism is that in the hot brine system, mafic volcanic eruption and intrusion rocks are metasomated and alternated by hot brine in the tension-rifted environment.

Key words: stratiform diopside rocks; hydrothermal metasomatic; Xinshan Cu-Sn ore deposit; Gejiu, Yunnan