

云南个旧卡房中三叠世安尼期变火山岩相序恢复及成矿分析

张 海^{1,2} 方维萱² 张贵山³ 甘凤伟² 魏 宁^{1,2} 郭玉乾²

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083;2. 北京矿产地质研究院,北京 100012;
3. 长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054)

摘要:中三叠世安尼期个旧组卡房段变火山岩恢复为一套碱性基性-超基性岩组合,火山岩-沉积岩岩相组合包括爆发相、喷溢相、火山沉积相、潮坪相、后期盆地流体叠加相、矽卡岩相。垂向相序表现为爆发相→喷溢相→火山沉积相→潮坪相,属于弧后裂谷盆地背景下形成的岩相组合与相序结构。在研究区卡房段可划分为 3 个期次,进而组成一个旋回,垂直相序特征表明火山活动的多期次性、火山活动由强到弱的变化规律。后期盆地流体叠加相、矽卡岩相作为主要含矿岩相,可以作为今后的找矿指标。

关键词:中三叠世安尼期;火山岩相;碱性基性-超基性岩;云南个旧

中图分类号:P611.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)06-1322-09

云南个旧锡铜多金属矿是一个以锡铜为主的多金属矿区,是环太平洋巨型锡矿带西带西端锡矿聚集十分丰富的矿区之一。印支运动中期,个旧及其邻区处于弧后裂谷盆地,沉积充填了厚达数千米的碳酸盐类岩层、碎屑岩和基性-超基性火山岩,并形成了基性火山-沉积型铜多金属矿床。前人对矿区进行了大量的研究,在矿床成因、岩石特征、大地构造等方面取得了许多成果^[1-6]。值得注意的是,与国内外许多锡矿区一样,特别是锡石-硫化物型的锡矿区,与成锡花岗岩相伴的往往有基性火山岩,如中国的桂北九毛锡矿^[7]、四川盆河锡矿^[8]、澳大利亚的塔斯马尼亚西部锡矿区,均发育早于成矿花岗岩的基性火山岩,同时基性火山岩对个旧矿床的形成提供了物质来源^[9]。个旧矿区属于幔源型锡矿^[9],其地质特征不同于湖南白沙子岭锡矿^[10]等壳源型、壳幔源型锡矿床,反映出基性超基性岩浆活动也是形成锡矿的重要途径。

三叠系个旧组以硅质白云岩、白云岩、灰岩和炭质(板)泥岩为主,属于个旧-那坡弧后裂谷盆地热沉降背景下形成的沉积序列^[9]。至今缺乏对本区变火山岩和沉积岩相序结构研究,尤其是在变火山岩和沉积岩相序结构与成矿关系上需要深入研究,以指导本区深部隐伏矿找矿预测。个旧组卡房段火山岩中夹有延伸稳定的碳酸盐岩薄层,变火山岩与沉积岩交替变更,表现很好的相变关系和岩相序列,是火山岩相研究的良好地区。火山岩相可定义为在一定的环境下一切火山活动产物特征的总称,属于成因相,沉积岩相则采用环境相进行研究,本文是采用成因相和环境相联合方法进行岩相划分。火山岩相对于揭示岩石的分类与成因、成矿成岩的物理化学条件和物质来源、成矿机制起到了极其重要的作用。火山岩相的研究已经取得了一系列的重要进展,并且在地质勘查、油气储集等方面得到了广泛应用^[11-19]。本文拟通过对地层、岩性、构造等成矿条件的研究,结合地

收稿日期:2009-10-20;改回日期:2009-11-06

基金项目:危机矿山元素综合查定和可利用性评价技术(2008EG115074)资助、中色地科研发项目(RD21)“岩相地球化学勘查新方法试验研究”和昆明中色地科研发项目(KZSDK-2007-03)联合资助。

作者简介:张海,男,1980年生,博士生,从事矿物学、矿床学研究;E-mail:zhanghai1980@sina.com。

通讯作者:方维萱,男,1961年生,教授,主要从事矿产普查与勘探等教学与科研工作;E-mail:fangwuxuan@tom.com。

表 1 云南个旧卡房矿田岩(矿)石多元素分析结果成分(10⁻⁶; Au 为 10⁻⁹)
 Table 1 Multi-element composition of rocks (ores) from Kafang of GeJiu, Yunnan Province (10⁻⁶; Au×10⁻⁹)

样号	Cu	Sn	Ti	Ag	Au	W	F	Cr	Ni	Bi	Zn	Mo	Co
kg389	>2000	>200	3681	2.757	16.76	2.8	2700	>500	159	29	186	0.92	76.3
kg390	>2000	>200	5177	>5	11.02	4.8	5000	>500	393.7	23.7	355	0.59	78.7
kg391	659.3	145	5300	0.25	2.05	5.5	3600	420	285	5.56	245	0.62	76
kg392	62	145	5800	0.052	0.7	2.0	1900	400	270	0.83	199	0.56	65
kg393	159.8	170	5000	0.048	0.82	2.0	2200	350	250	1.86	175	0.4	56
kg394	265.5	>200	5902	0.152	0.56	3.1	1660	>500	232.1	2.44	167	1.35	69.7
kg395	698	>200	6162	0.175	1.21	1.7	2100	498.7	>400	3.76	168	1.29	78.9
kg396	28	1.7	946	0.098	7.44	1.7	370	9.2	6	108	37	0.12	16
kg397	175.3	>200	5257	0.071	0.52	1.8	1700	>500	>400	1.98	189	0.84	72.2
kg398	407.9	>200	5152	0.215	0.52	1.9	3800	>500	242.6	1.52	132	0.81	47.6
kg399	73	79.4	5392	0.039	0.56	2.0	1120	>500	309.9	1.24	145	2.14	81
kg400	7.1	1.7	990	0.073	1.17	1.3	280	13.3	3.3	1.4	91	0.15	2.9
kg400-1	>2000	>200	5427	>5	6.12	1.5	2700	248.3	72.7	30	>1100	2.35	97.7
kg401	7.7	0.6	486	0.044	0.3	1.3	280	5.6	1.8	0.72	58	0.12	1.4
kg402	7	2.1	810	0.072	1.39	1.3	430	7.4	3.5	3.41	64	0.12	2.5
kg402-1	>2000	>200	2760	>5	8.81	1.7	4500	72.6	26.1	1.17	727	3.19	40.8
kg403	710	>200	5772	0.322	0.33	1.7	5600	480.5	333.7	1.55	200	1.46	50.6
kg404	359	>200	5806	0.088	0.33	1.5	2300	>500	>400	1.98	113	1.4	64.5
kg405	675.3	>200	4993	0.165	0.33	1.3	2100	375.8	229.6	2.79	75	0.78	52
kg406	513.4	>200	6420	0.226	0.48	4.7	1660	465.9	235.1	2.48	126	0.78	48.4
kg407	172.9	>200	4959	0.066	0.77	3.0	1660	>500	240	2.95	86	0.54	46.6
kg408	357.2	>200	6740	0.087	0.89	2.3	1460	>500	218.4	3.82	128	0.48	60.9
kg409	524.9	159.5	7940	0.21	1.11	2.8	2000	437.5	195.9	3.34	166	0.46	57.6
kg410	25	0.5	485	0.09	1.39	1.6	280	11.7	1.9	1.22	81	0.15	1.8
kg410-1	>2000	>200	4557	>5	>5000	1.8	720	92	17.3	>1000	>1100	23.39	98.1
kg411	54	0.7	1232	0.109	25.76	1.7	320	12	2.1	67.5	53	0.12	1.6
kg411-1	>2000	180	2754	>5	322.78	317.1	320	18	114.8	>1000	>1100	3.26	>200
kg412	30	0.5	595	0.098	3.7	1.6	150	7.8	1.8	6.75	137	0.18	2
kg413	4.5	0.2	558	0.052	2.43	1.5	180	7.3	1.2	2.56	93	0.25	1.2

注:由有色金属桂林矿产地质测试中心杨晖测定,Cu、Sn、Ti、Ag、Cr、Ni、Zn、Co为90-750II直读光谱,Bi为AFS-2202e原子荧光光谱,Au为WPG-100化学光谱,W、Mo为JP-2极谱,F为720A5离子选择性电极。

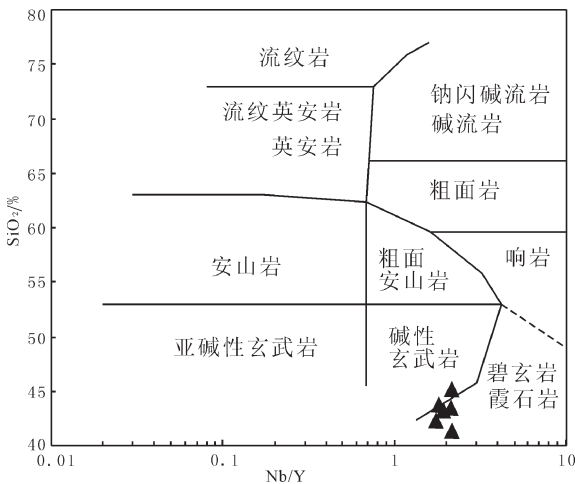


图 2 云南个旧卡房矿区印支期变火山岩 Nb/Y-SiO₂ 图解

Fig.2 Nb/Y- SiO₂ diagram of Indo-Chinese meta-volcanic rocks in Kafang of Gejiu, Yunnan Province

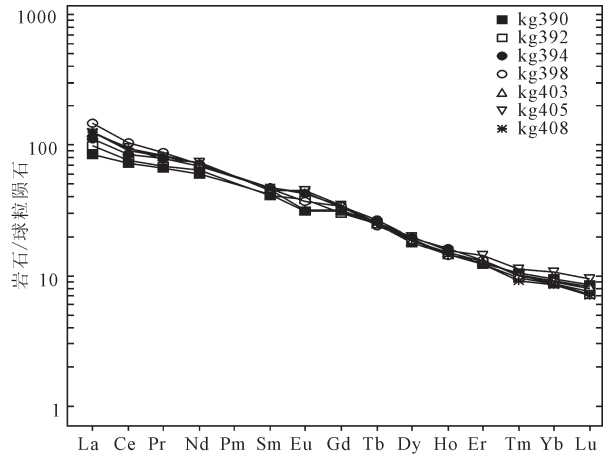


图 3 稀土元素球粒陨石标准化图解

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns of the rocks in Gejiu

变火山岩 Σ REE 为 $123.564 \times 10^{-6} \sim 166.924 \times 10^{-6}$, Σ Ce/ Σ Y = 6.323~8.493, $(La/Yb)_N = 8.966 \sim 16.564$, $(La/Sm)_N = 2.021 \sim 3.228$, $(Gd/Yb)_N = 3.2 \sim 3.952$, 轻

重稀土分馏程度差异不明显。 δ Ce = 0.874~0.958, δ Eu = 0.816~1.135。稀土元素球粒陨石标准化^[22] 分配曲线(图 3)呈右倾斜,具有轻稀土富集的特点,与裂谷碱性玄武岩稀土元素配分模式图相似^[23]。

表 2 云南个旧卡房变火山岩主量元素、微量和稀土元素含量
Table 2 Major element, trace element and REE analyses of meta-
volcanic rocks from Kafang of Gejiu, Yunnan Province

样品号	kg-390	kg-392	kg-394	kg-398	kg-403	kg-405	kg-408
SiO ₂ /10 ⁻²	39.28	42.23	43.69	45.16	43.09	43.45	41.29
TiO ₂	2.71	2.84	3.07	2.81	2.66	2.8	2.91
Al ₂ O ₃	12.84	13.18	13.53	12.98	13	13.46	13.91
Fe ₂ O ₃	1.6	1.81	1.59	1.08	1.22	1.16	1.4
FeO	9.72	9.27	10.39	7.14	6.75	7.94	8.76
MnO	0.204	0.195	0.211	0.14	0.185	0.117	0.152
MgO	13.51	13.35	10.84	12.57	12.93	9.64	9.9
CaO	9.24	7.51	8.02	10.22	10.56	11.28	9.08
Na ₂ O	0.592	0.93	1.6	1.04	0.579	1.84	1.52
K ₂ O	4.83	4.02	3.56	2.6	3.91	2.69	4.21
P ₂ O ₅	0.473	0.476	0.518	0.507	0.476	0.506	0.5
LOS	3.61	2.79	1.35	2.63	3.59	3.86	5.06
H ₂ O ⁺	1.64	2.26	0.94	1.84	1.69	0.8	1.95
Total	100.249	100.861	99.309	100.717	100.64	99.543	100.642
Mg [#]	51.742	52.628	44.593	57.593	59.64	48.363	46.576
Rb/10 ⁻⁶	1257	795	752	667	1045	568	756
Sr	971	1229	2199	1481	1038	1829	1508
Y	19.8	20.5	22.2	20.7	21	21.8	20.1
Zr	102	97.3	73.9	134	65.8	74.9	301
Nb	36.8	35.9	40.1	45	40.7	46.1	43.6
Cs	351	332	253	201	297	186	245
Ba	257	377	681	143	198	315	358
Hf	8.22	4.08	3.92	6.76	9.12	10.6	3.83
Ta	1.74	1.65	1.89	2.26	1.93	2.2	2.09
Th	2.99	2.52	2.61	3.38	3.32	3.72	3.21
U	0.901	0.494	0.539	0.841	0.934	0.739	0.415
La	20	23.3	26.6	35.1	29.9	29.4	29.8
Ce	44.2	46.9	51.6	63.5	55.5	58.2	57.6
Pr	6.31	6.57	7.5	8.28	7.72	7.42	7.91
Nd	28	30	32.3	33.3	34	34.7	33.7
Sm	6.39	6.28	7.18	7.02	7.01	6.84	7.18
Eu	1.79	2.22	2.48	2.14	1.83	2.6	2.51
Gd	6.4	6.18	7.01	6.92	6.48	7.04	6.88
Tb	0.922	0.922	1	0.895	0.93	0.952	0.946
Dy	4.58	4.56	4.98	4.81	4.7	5.07	4.87
Ho	0.819	0.827	0.914	0.813	0.848	0.885	0.819
Er	2.07	2.04	2.17	2.17	2.13	2.35	2.02
Tm	0.265	0.247	0.258	0.253	0.258	0.285	0.232
Yb	1.6	1.48	1.48	1.52	1.55	1.82	1.44
Lu	0.218	0.181	0.192	0.203	0.21	0.241	0.179
Σ REE	123.564	131.707	145.664	166.924	153.066	157.803	156.086
Σ Ce/Σ Y	6.323	7.013	7.091	8.493	7.948	7.464	7.978
δ Ce	0.958	0.915	0.882	0.882	0.874	0.941	0.901
δ Eu	0.847	1.076	1.055	0.928	0.816	1.135	1.076
(La/Yb) _N	8.966	11.293	12.892	16.564	13.837	11.587	14.844
(La/Sm) _N	2.021	2.395	2.392	3.228	2.754	2.775	2.679
(Gd/Yb) _N	3.309	3.454	3.918	3.766	3.458	3.200	3.952

注: Mg[#] = 100 × Mg / (Mg + Fe), 原子比; 主量元素由国土资源部中南矿产资源监督检测中心周齐新用 XRF 方法分析, FeO 采用容量法; 微量元素由核工业北京地质研究院分析测试中心张颜辉用 ICP-MS 方法测定。

4 火山岩相恢复

通过对 1820 中段 19 穿典型剖面的研究, 结合研究区域的大地构造、古地理环境^[24], 考虑岩石地球化学特征、矿物组合特征, 该期火山岩可以划分爆发相、喷溢相、火山沉积相、后期盆地流体叠加相、矽卡岩相、潮坪相(图 4)。前人火山岩相的划分主要侧重于岩石的岩性、组构、成因等方面的研究^[13-15], 本文的划分方案在结合岩石地球化学特征、矿物特征

等的同时, 对于变火山岩主要为成因相, 对于碳酸盐岩仍以环境相为主, 以便研究火山岩与碳酸盐岩共沉积作用中与成矿之间的关系。

4.1 爆发相

爆发相是火山爆发时产生的各种火山碎屑物降落堆积所形成的岩相, 主要由各类火山成因的碎屑物组成, 反映出火山活动高能量的特点。该岩相可形成于火山作用的不同阶段, 但以早期及喷发高潮时最为发育。该岩相的岩石组合为一套含铜锡榴

石阳起石二云母角岩(碱玄岩类),原岩为浆屑晶屑角砾凝灰岩。岩石学特征表现为暗棕色,角砾杏仁状构造。变余火山角砾特征明显,角砾呈棱角状和不规则状,大的直径为 7~8 cm,小的角砾直径为 2~4 mm 左右。杏仁体大小不等,大的杏仁体约 1 cm,小的约 2 mm,在后期断裂附近受应力作用呈定向排列。晶屑主要为暗色矿物,斑点状构造,胶结物以金云母为主,呈暗棕色。爆发相具有 Sn 和 Ti 矿源层特征(图 4),为后期盆地流体成矿提供了成矿物质。

4.2 喷溢相

喷溢相是火山活动相对较弱的一种岩相,在酸性、中性、基性火山岩中均可见到。本区该岩相为一套灰黑色块状含透辉石阳起石角岩为主,细晶鳞片变晶结构,块状构造。普遍发育杏仁体与角砾,杏仁体受后期构造影响,呈定向排列,其中心常被硫化物(黄铁矿、磁黄铁矿)交代充填,并常见有金云母反应边结构。局部含角砾粒径继续变小,浑圆度增强,碳酸盐屑增强。在喷溢相顶部多出现 Cu、Sn、Ag 和 F 富集层位(图 4),推测喷溢相顶部为找矿层位之一,建议今后进一步研究其含矿性,探索在该相顶部中寻找隐伏矿体。

4.3 火山沉积相

火山沉积相岩石组合为条纹条带状凝灰质大理岩,表现出碳酸盐岩与火山物质同生沉积作用。火山沉积相具有以下特点:凝灰质和碳酸盐含量有规律的变化,沿走向渐变为条带状凝灰质大理岩和大理岩,同时在该剖面的同时代地层中常常发育凝灰质大理岩与含碳酸盐岩火山凝灰岩的韵律层,这种现象表明了火山活动间歇期该区域同样接受来自远(异)源喷发产生的火山灰沉积,可能代表一种间隙期内高频率火山活动的产物,该岩相所代表的标志层可以作为火山旋回期次的顶界面;在垂向上,该相下部的喷溢相顶部向上火山物质逐渐减少,碳酸盐沉积比例逐渐增多,在火山沉积相或喷溢相顶部发育矽卡岩相,这 3 种岩相组合是锡铜多金属成矿和储矿均十分有利的相带因而常发育铜锡矿体(图 4),属于本区寻找隐伏锡铜多金属矿主要含矿岩相组合,对于本地区的矿产勘查具有重要意义。

4.4 矽卡岩相

矽卡岩相是位于大理岩与变玄武岩的接触带中的变质岩相,主要为层状矽卡岩,少见穿层脉状、囊

状矽卡岩,同时受地层控制,产状与围岩一致,距燕山期花岗岩 500 m 左右。矿体厚度或品位一般不受与后期侵位的花岗岩接触带距离影响,矽卡岩的形成与燕山期花岗岩活动不存在直接联系,而与海底喷流作用有关^[25]。研究表明,层状矽卡岩形成与岩浆热液没有直接的成因联系,而与古海底热水活动有关,如西藏甲马铜矿^[26-27],个旧矿区层状矽卡岩的形成可能与之相似,有待于进一步研究。该岩相岩石通常呈浅绿至深绿色,组成矿物主要有透辉石、透闪石、阳起石及深绿到褐色的石榴子石。受热液活动影响,产生绿泥石化、蛇纹石化、硅化、碳酸盐化等。透辉石、透闪石、阳起石、石榴子石常共生分布,晶体呈自形-半自形,并伴随有重结晶现象。矽卡岩相是矿区的主要含矿岩相,是寻找预测层状主矿体(锡铜硫化矿矿体)的关键标志。

4.5 后期盆地流体叠加相

基性火山岩受火山喷气及热液蚀变而产生的变质火山岩组成该相带的特征矿物。该相带分布比较局限,规模较小,一般为几厘米至几十厘米宽,常呈脉状、层状、似层状分布,并伴随有小型构造发育。由于小型构造的发育为成矿提供了有力容纳空间,因而在附近构造破碎带和裂隙中常发育一定规模的后期叠加锡铜多金属矿化。在剖面上以电气石脉、阳起石脉和萤石脉为特征,并有良好的矿物分带性,说明从高温区到中低温区,在不同的温度、压力、物化条件下,生成了不同矿物。可见矿化由中心向两侧呈团块状→斑状→细脉状→沿破碎面浸染状分布,矿(化)体一般为 0.5~1 m 厚,元素异常为 Cu、Sn、W、Au、Bi、Ag 等。该岩相发育强度代表了后期叠加成矿强度,发育的密度越大,指示与岩浆期后热液叠加成矿作用越强,同时也是寻找 W、Sn、Bi、Mo 和 Au 叠加成矿的找矿标志。

4.6 潮坪相

中三叠纪安尼期个旧矿区处于东有障壁,北、西、南有古陆环绕的陆表海半局限海湾中,属于潮坪泻湖——萨布哈的沉积环境^[18],这是一种有利于成矿热液活动的地球化学环境。该岩相以条带状粗粒白云岩为特征,粗粒变晶结构,条带状构造。条带主要以泥质为主,少量为粉砂质和凝灰质条带。潮坪相属于非含矿岩相,当碳酸盐岩地层中穿层含矿岩脉强烈发育时具有找矿价值。

5 相序特征及成矿分析

根据个旧组卡房段的火山活动周期性、火山岩间的沉积岩层、火山岩的时空分布规律等特征,可以将个旧组卡房段火山岩-沉积岩相相序恢复为爆发相→喷溢相→火山沉积相→潮坪相,这种相序结构及岩相组合揭示了火山活动由强到弱,沉积作用不断增强的连续变化过程。剖面主要以爆发相为主,表明了该段地层处于火山活动较强烈的阶段,火山沉积相或者潮坪相的出现则表明火山活动进入间歇期。后期盆地流体叠加相、矽卡岩相往往处于火山活动的后期,其形成与后期盆地流体叠加作用有关,穿层含矿脉岩相指示与岩浆期后热液叠加成矿作用。

据 29 个岩石样品的统计(表 1),氟含量变化在 $150 \times 10^{-6} \sim 5 600 \times 10^{-6}$,平均 $1 831 \times 10^{-6}$ 。火山岩含量为 $1 120 \times 10^{-6} \sim 5 600 \times 10^{-6}$,高于世界基性喷出岩(玄武岩)的 $180 \times 10^{-6} \sim 540 \times 10^{-6}$;碳酸盐岩 $150 \times 10^{-6} \sim 430 \times 10^{-6}$,与世界沉积岩 330×10^{-6} 相当。在三个期次以及各火山岩相内部,氟表现出由低到高的变化趋势。这是由于岩浆作用的氟大部分分散在造岩矿物及副矿物中,其中以云母、角闪石、萤石较多,随着岩浆分异作用氟往往晚期挥发富集。早期岩浆作用阶段中 OH 含量相对较少,限制了氟进入矿物中进行类质同像,此外硅酸盐熔融体中 HF 比水有更大的溶解性, HF 趋向于在岩浆晚期富集。F 可以作为划分岩相的重要依据,同时可以作为岩相界面指示元素。值得注意的是 F 在后期盆地流体叠加成矿相的含量明显低于矽卡岩相,表明了两种岩相的不同成因。

Cu、Sn 矿体主要产在后期盆地流体叠加相、矽卡岩相以及喷溢相与火山沉积相的接触带上,爆发相、喷溢相也表现出良好的矿化信息,为 Cu、Sn 矿体提供了良好的物质来源。Ag 与 Cu、Sn 具有相似的分布特征,而在爆发相、喷溢相未见 Ag 的矿化信息,推测 Ag 的形成主要与后期火山活动有关。

Ti 在整个旋回呈逐渐降低的趋势,这是由于岩浆分异演化的过程中, Ti 的含量向晚期分异体逐渐降低,在火山喷发初期具有富集 Ti 特征。通过研究发现,在爆发相底部存在钛铁矿、榍石、金红石、白钛矿、板钛矿和锐钛矿等 Ti 的独立矿物,因此爆发相底部可能存在含 Ti 的找矿层位。Au 主要分布在后期盆地流体叠加成矿相带,分布局限,在其他相带未见矿化信息。

6 结 论

(1) 三叠系安尼期个旧组卡房段火山岩原岩为一套碱性基性-超基性岩组合,垂向相序表现为爆发相→喷溢相→火山沉积相的变化规律,这种相序结构及岩相组合揭示了火山活动由强到弱,沉积作用不断增强的连续变化过程。该相序是处于个旧-那坡三叠纪弧后裂谷盆地背景下的一套火山岩-沉积岩岩相组合。

(2) 火山沉积相或者喷溢相顶部发育层状矽卡岩相,这三种岩相组合属于本区寻找隐伏锡铜多金属矿主要含矿岩相组合。在该岩相与层状矽卡岩相和喷溢相顶部常发育铜锡矿体(矽卡岩相),这是隐伏锡铜多金属今后主要找矿层位,建议对于沿该层位寻找隐伏锡铜多金属矿给予高度重视,预测该含矿岩相的层位与火山热水沉积型块状硫化物矿床的形成有直接联系。

(3) 这种沉积相序受到后期盆地流体叠加改造,是今后在构造-岩相学填图与研究中需要进行筛选的对象,也是主要找矿预测标志。后期盆地流体叠加相、层状矽卡岩相往往处于火山活动的后期,其形成与后期盆地流体叠加作用有关。穿层含矿脉岩相指示与岩浆期后热液叠加成矿作用。

参考文献(References):

- [1] 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.
Cheng Yanbo, Mao Jingwen, Chen Maohong, et al. LA-ICP-MS zircon dating of the alkaline rocks and lamprophyres in Gejiu area and its implications [J]. *Geology in China*, 2008, 35(6):1138-1149 (in Chinese with English abstract).
- [2] Jiang Zhuwei, Nicholas H S O, Terence D B, et al. Numerical modeling of fault-controlled fluid flow in the genesis of tin deposits of the Malage ore field, Gejiu mining district, China [J]. *Economic Geology*, 2001, 92:228-247.
- [3] 秦德先,谈树成,范柱国,等.个旧—大厂地区地质构造演化及锡多金属成矿[J].矿物学报,2004,24(2):117-123.
Qin Dexian, Tan Shucheng, Fan Zhuguo, et al. Geotectonic evolution and Tin-polymetallic metallogenesis in Gejiu-Dachang area [J]. *Acta Mineralogical Sinica*, 2004, 24 (2):117-123 (in Chinese with English abstract).
- [4] 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,(2):158-168.
Zhou Jianping, Xu Keqin, Hua Renmin, et al. Characteristics and

- genesis of exhalative sedimentary massive sulfides in southeastern Yunnan Province [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1998, (2):158-168 (in Chinese with English abstract).
- [5] 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 云南哀牢山地区构造岩石地层单元及其构造演化[J]. *大地构造与成矿学*[J]. 2002, 26(1):28-36.
Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, et al. Tectonolithostratigraphic units of the Ailaoshan area in Yunnan, China and their implications of tectonic evolution [J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 2002, 26(1):28-36 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张旗, 周德进, 赵大升, 等. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论[J]. *岩石学报*, 1996, 12(1):17-28.
Zhang Qi, Zhou Dejin, Zhao Dasheng, et al. Wilson cycle of the Paleo-Tethyan orogenic belt in western Yunnan: record of magmatism and discussion on mantle processes [J]. *Acta Petrologica sinica*, 1996, 12(1):17-28 (in Chinese with English abstract).
- [7] 朱立军, 张杰. 桂北地区锡多金属矿床中锡石的成因矿物学研究[J]. *矿物学报*, 1994, 14(1):32-39.
Zhu Lijun, Zhang Jie. A genetic mineralogical study of cassiterite from Tin polymetallic deposits in northern Guangxi [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1994, 14 (1):32-39 (in Chinese with English abstract).
- [8] 谭榜平, 张成江. 四川盆河锡矿地质地球化学特征及成因分析[J]. *矿物岩石*, 2001, 21(1):67-70.
Tan Bangping, Zhang Chengjiang. The characteristics of geology and geochemistry in Chahe tin deposit, Sichuan Province [J]. *Journal of Mineral and Petrology*, 2001, 21 (1):67-70 (in Chinese with English abstract).
- [9] 黎应书, 秦德先, 党玉涛, 等. 锡矿床与基性岩超基性岩的关系探讨[J]. *中国工程科学*, 2005, 7(增刊):269-274.
Li Yingshu, Qin Dexian, Dang Yutao, et al. Research on relation between Tin ore deposit and (ultra) ferromagnesian rock [J]. *Engineering Science in China*, 2005, 7(supp.):269-274 (in Chinese with English abstract).
- [10] 曾志方, 曾佐勋, 曾永红, 等. 湖南桂阳县白沙子岭锡矿床地质地球化学特征及其成因[J]. *中国地质*, 2008, 35(4):725-737.
Zeng Zhifang, Zeng Zuoxun, Zeng Yonghong, et al. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Baishaziling tin deposit, Guiyang County, Hunan [J]. *Geology in China*, 2008, 35 (4): 725-737 (in Chinese with English abstract).
- [11] Fisher R V, Schmincke H U. *Pyroclastic Rocks* [M]. Heidelberg: Springer, 1984.
- [12] Cas R A F, Wright J V. *Volcanic Successions Modern and Ancient* [M]. London: Allen & Unwin, 1987:59-333.
- [13] 谢家莹, 陶奎元, 黄光昭. 中国东南大陆中生代火山岩带的火山岩相类型[J]. *火山地质与矿产*, 1994, 15(4):45-51.
Xie Jiaying, Tao Kuiyuan, Huang Guangzhao. The volcanic facies types of Mesozoic terrane in southeast China continent [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 1994, 15(4):45-5 (in Chinese with English abstract).
- [14] 戴亚权, 罗静兰, 林潼, 等. 松辽盆地北部升平气田营城组火山岩储层特征与成岩演化[J]. *中国地质*, 2007, 34(3):528-535.
Dai Yaquan, Luo Jinglan, Lin Tong, et al. Reservoir characteristics and petrogenesis of volcanic rocks in the Yingcheng Formation of the Shengping gas field, northern Songliao basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3):528-535(in Chinese with English abstract).
- [15] 贺电, 李江海, 刘守偈, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷营城组大型破火山口的发现[J]. *中国地质*, 2008, 35(3):463-471.
He Dian, Li Jianghai, Liu Shoujie, et al. Discovery of a giant caldera in the Yingcheng Formation in the Xujiaweizi fault depression, northern Songliao basin [J]. *Geology in China*, 2008, 35(3):463-471 (in Chinese with English abstract).
- [16] 方维萱. 陕西铅硐山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. *沉积学报*, 1999, 17(1):44-50.
Fang Weixuan. Characteristics of sedimentary facies of hydrothermal for Qiantongshan giant lead-zinc ore deposit, Feng County, Shanxi Province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17 (1):44-50 (in Chinese with English abstract).
- [17] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. *中国地质*, 2009, 36(1):1-28.
Pan guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. *Geology in China*, 2009, 36 (1):1-28 (in Chinese with English abstract).
- [18] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡多金属矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1996:108-124.
Zhuang Yongqiu, Wang Renzhong, Yang Shupe, et al. *Geology of Gejiu Tin-Copper Polymetallic Deposit* [M]. Beijing: Seismological Press, 1996:108-124 (in Chinese with English abstract).
- [19] Frey F A, Green D H, Roy S D. Integrated models of basalt petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilitites from south eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data [J]. *Journal of Petrology*, 1978, 19(3):463-513.
- [20] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements [J]. *Chemical Geology*, 1977, 20:325-343.
- [21] 黄月华. 岚皋碱性镁铁—超镁铁质潜火山杂岩中金五角闪石岩类地幔捕虏体矿物学特征[J]. *岩石学报*, 1993, 9(4):367-378.
Hang Yuehua. Mineralogical characteristics of phlogopite-amphibole-pyroxenite mantle xenoliths included in the alkali mafic-ultramafic subvolcanic complex from Langao County, China [J]. *Aera Petrologica Sinica*, 1993, 9(4):367-378(in Chinese with English abstract).
- [22] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geological Society Special Publication, 1989:313.
- [23] 邱家骧. *应用岩浆岩岩石学* [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991:225-248.
Qiu Jiaxiang. *Application of Magmatite on Petrplygy* [M]. Wuhan:

- Geology Publishing House of Geosciences University of China, 1991:225–248 (in Chinese).
- [24] 刘宝珺, 许效松. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪——三叠纪) [M]. 北京: 科学出版社, 1994:1–239.
- Liu Baojun, Xu Xiaosong. Atlas of Sedimentary –Facies and Paleogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1–239(in Chinese).
- [25] 张欢, 高振敏, 马德云, 等. 个旧锡矿区鲕状黄铁矿和胶状结构黄铁矿中锡的分布及其成因意义[J]. 矿物学报, 2004, 24(1):87–91.
- Zhang Huan, Gao Zhenmin, Ma Deyun, et al. Distribution and genetic significance of Sn in oolitic pyrite and colloiddally structured pyrite from Gejiu Tin deposits [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24(1):87–91 (in Chinese with English abstract).
- [26] 姚鹏, 王全海, 李金高. 西藏甲马——驱龙矿集区成矿远景[J]. 中国地质, 2002, 29(2):197–202.
- Yao Peng, Wang Quanhai, Li Jingao. Ore and ore resource prospects of the Jiama–Qulong ore concentration area, Tibet [J]. Geology in China, 2002, 29(2):197–202 (in Chinese with English abstract).
- [27] 姚鹏, 李金高, 顾雪祥, 等. 从 REE 和硅同位素特征探讨西藏甲马矿床层状矽卡岩成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(4):305–313.
- Yao Peng, Li Jingao, Gu Xuexiang, et al. A discussion on the genesis of the stratabound skarn in the Jiama copper and polymetallic deposit of Tibet on the basis of REE and silicon isotope geochemistry [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2006, 25(4):305–313 (in Chinese with English abstract).
- [28] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学 [M]. 北京: 科技出版社, 1984.
- Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, et al. Element Geochemistry [M]. Beijing: Sciences Press, 1984:476–498 (in Chinese).

Facies sequence reestablishment and metallogenic analysis of Middle Triassic Anisian meta–volcanic rocks in the Kafang ore district, Gejiu, Yunnan

ZHANG Hai^{1,2}, FANG Wei-xuan², Zhang Guishan³,
GAN Feng-wei², WEI Ning^{1,2}, Guo Yu-qian²

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China; 3. College of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Middle Triassic Anisian meta–volcanic rocks in Kafang Member of Gejiu Formation could be restored into a set of alkaline basic–ultrabasic rock assemblages. The restored volcanic and sedimentary lithofacies includes explosive facies, effusive facies, volcanic sedimentary facies, tidal flat facies, late–basin–fluid superimposed facies and skarn facies. It is considered that the vertical facies sequence might be in order of explosive facies→effusive facies→volcanic sedimentary facies→tidal flat facies, belonging to the facies sequence structure and facies assemblage formed in a back–arc rift basin background. Kafang Member is divided into 3 volcanic stages in the study area, which composed a volcanic cycle. The characteristics of the vertical phase sequence indicate multi–stages of volcanic activities and variation of volcanic activities from strong to weak. Late–basin–fluid superimposed facies and skarn facies can be regarded as ore–bearing lithofacies and an ore–prospecting index in future.

Key words: Middle Triassic Anisian period; volcanic facies; alkaline basic–ultrabasic rock; Gejiu, Yunnan

About the first author: ZHANG Hai, male, born in 1980, doctor candidate, engages in the study of mineralogy and mineral deposit geology; E–mail: zhanghai1980@sina.com.

About the corresponding author: FANG Wei-xuan, male, born in 1961, senior researcher, supervisor of doctor candidates, mainly engages in exploration of mineral resources and industrial economics; E –mail: fangweixuan@tom.com.