个旧蚀变岩型铜多金属矿床 围岩蚀变过程中元素迁移定量研究

李 培,邓小虎,陈守余

(1.中国地质大学(武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室,武汉 430074;
 2.中国地质大学(武汉) 资源学院,武汉 430074)

摘 要: 云南个旧锡矿东矿区塘子凹凹陷带岩体内的蚀变岩型铜多金属矿床形成于富碱、氧化 环境中,钾长石化是重要的找矿标志之一,多种金属元素可以综合利用。蚀变分带比较特别,主要 的蚀变带钾长石化带与绿帘石化带相互交替出现,可能与热液的多期(次)性有关。通过对蚀变岩 以及矿体采样分析结果的定量计算,得出有关常量元素、主要成矿元素及其伴生元素的迁移规律, 为今后的找矿方向提供了依据。

关键词: 个旧铜多金属矿床; 蚀变岩; 元素迁移; 定量计算; 云南省 中图分类号: P614; P618.4 文献标识码: A 文章编号: 100-1412(2011) 02-0176-06

0 引言

云南个旧超大型锡铜多金属矿床以锡矿生产驰 名中外,具有悠久的开采历史。但是随着已探明资 源在开采中不断消耗,寻找新的接替资源成为今后 的主题。因此,新类型矿床的发现为寻找新的接替 资源提供了方向。关于这类新型矿床的研究暂时还 未见,本文将对深部岩体内新型蚀变岩型铜多金属 矿床进行了蚀变分带,定量计算出围岩蚀变过程中 元素迁移的变化量,试图从微观角度探寻蚀变过程 中元素的变化规律及与成矿的关系。

1 矿床地质概况

个旧锡矿东矿区西部凹陷带位于个旧东区老厂 矿田西部塘子凹矿段一带(图1)。凹陷带内地层主 要为中三叠统个旧组(T2g)中下段的碳酸盐岩和第 四系黄褐色黏土、砂质黏土;区内构造发育,主要为 褶皱和断裂;成矿岩体为燕山晚期花岗岩,隐伏于地 下,属老卡岩体的一部分,普遍发生自变质作用^[1]。

2 围岩蚀变及其分带特征

研究区内围岩蚀变作用具有多阶段性,可大致 分为前期的钾长石化,中期的电气石化、萤石化和黄 铁矿化,以及后期的绿帘石化、绿泥石化和碳酸盐化 等。围岩为花岗岩,从镜下矿物组合及其特征来看, 围岩蚀变的类型主要有钾长石化、绢英岩化、电气石 化、萤石化、黄铁矿化、硅化、绿帘石化、绿泥石化、碳 酸盐化等。其中与成矿关系密切的蚀变有钾长石 化、萤石化、电气石化以及黄铁矿化;在未见明显矿 化的区段普遍发育的蚀变多为绿帘石化和绿泥石 化,蚀变的强度不一,并以绿帘石化为主。不同的蚀 变类型之间的界线不明显,常见不同的蚀变类型叠 加在一起,这可能与热液的多期(次)性活动有关。

因此,在划分蚀变分带的时候,考虑到蚀变类型

收稿日期: 2009-11-08

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿专项(No. 200653058)、云南锡业集团省校合作项目、2009 年度地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题基金联合资助。

作者简介: 李培(1984), 女, 山西潞城人, 博士研究生, 从事矿产资源勘查评价工作。通信地址: 湖北省武汉市, 中国地质大学(武汉) 10 栋 241 室; 邮政编码: 430074; E-mail: lipei. cug@ 126. com



图 1 个旧锡矿东矿区西部凹陷带地质简图

Fig. 1 Geological sketch of depression zone in western part of east Gejiu tin mining area, Yunnan Province 1. 地层代号 2. 地质界线 3. 钻孔及编号 4. 山峰及高程 5. 断裂

的叠加,没有划出单一的蚀变类型带,而是以叠加的 多种蚀变类型中最为主要的蚀变类型为依据来划分 的。根据钻孔岩心的实际观察记录,将蚀变带分为 钾长石化带和绿帘石化带两个大的蚀变带。其中钾 长石化带的岩心颜色呈浅红色,发育钾长石化、萤石 化、电气石化以及黄铁矿化,并且可见较大的黄铜矿 颗粒,形态较好;绿帘石化带岩心颜色呈灰绿色,常 见绿帘石化、绿泥石化,局部见少量萤石、电气石,未 见结晶较好的黄铜矿颗粒。从蚀变分带最为明显的 钻孔 ZK 2007-303-1分析,沿钻孔从上到下,这 2个 蚀变带交替出现,可能与成矿的多期(次)性有关,显 示了矿化的强度变化(图 2)。

3 元素迁移定量计算

3.1 样品测试与分类计算

将钻孔 ZK 2007-3031 岩心所采的样品按上述 蚀变分带归类,单个蚀变带中如有多个样品,则取其 平均值。钾长石化带简称"钾",绿帘石化带简称 "绿",蚀变分带以及各带名称参见图 2。结合岩心 观察描述和样品分析结果进行计算,其中绿 I 带、钾 I 带、绿 II 带的样品数分别为 4 个、3 个和 2 个, 钾 II



图 2 钻孔 ZK2007-303-1 花岗岩内蚀变分带

Fig. 2 Schematic diagram of alteration zoning in granite revealed by Drill hole ZK 2007-303-1(Measured)

带、钾 III 带均为单个样品, 绿 III 以及绿 IV 没有样 品, 故这 2 个带没有参加计算。

由于研究区内大部分地区均发生蚀变, 很少有 未蚀变的岩石样品, 考虑到本区花岗岩的岩性在整 个地区没有明显的变化, 因此选取坑道中采集的样 品(XAK-82)作为未蚀变岩样品, 其岩性为灰白色中 粗粒黑云母花岗岩。各蚀变带的岩石组分测试结果 见表 1。

3.2 计算方法

在一些围岩蚀变过程中元素迁移问题的定量研 究中, 通常的假设前提是岩石蚀变前、后的体积不 变, 如采用巴尔特、鲁德尼科等的计算方法。但岩石 在蚀变前后的体积往往是会发生变化的, 因此这样 的计算不妥。Gresens^[2](1967)提出了岩石交代蚀 变的成分-体积关系法, Grant^[3]于1986年根据 Gresens的方程提出等浓度线法, 这 2 种方法均使 用未蚀变岩石及其相应蚀变岩化学分析数据参与计 算。Gresens法还需要考虑岩石的相对体积质量, 而 Grant法一般不需考虑这个参数, 这为旧资料的 使用提供了便利。且相对于 Gresens法而言, Grant 法可免去对数据的繁杂处理, 等浓度图可以一目了 然地看出元素的得失情况。我们采用 Grant 法, 其 方程推导过程如下^[4]:

$$C_i^A = m^0 / m^A \bullet (C_i^0 + \Delta C_i)$$
 (1)

式中, C¹ 和 C¹ 分别为未蚀变岩组分 i 和蚀变岩组分

i 的质量分数, m^0 和 m^A 分别为未蚀变岩和蚀变岩的质量, ΔC_i 是组分*i* 的质量分数变化。

如果在蚀变过程中有未发生含量变化的不活动 元素 j ,则对于不活动元素 j 有 $\Delta C_j = 0$,带入(1) 式 可得 $C_j^{A} = (m^0/m^A) \cdot C_j^0$,因此求出比值 $m^0/m^A = C_j^A/C_j^0$,再带入(1) 式可求出 ΔC_i 。

$$\Delta C_i = \left(C_i^{\mathrm{A}} \bullet C_j^0 \right) / C_j^{\mathrm{A}} - C_i^0 \tag{2}$$

由(2)式即可算出蚀变过程中元素质量分数的 变化。 前人的研究^[5-8]证明,最佳惰性元素为 Th,其次 是 Al₂O₃, P₂O₅, TiO₂, Hf, V,后 5 种元素在蚀变过程 中质量得失率均较小;值得注意的是, Al₂O₃ 和 TiO₂ 在很多热液矿床蚀变中均可作为惰性组分^[9-10],所以 在矿床围岩蚀变过程中 Al₂O₃ 和 TiO₂ 作为惰性组分 具有普遍意义。岩石蚀变过程中,体积的变化可以从 $k = m^0/m^A$ 值上粗略地反映出来,k > 1时,则体积亏 损;k < 1时,则体积增大,但k值接近于 1 时,可能因 岩石的密度差异影响体积的变化^[11]。

表 1 各蚀变带的常量元素和微量元素组成

Table 1	T race,	constant	element s	contents	of	different	alt eration	zones
---------	---------	----------	-----------	----------	----	-----------	-------------	-------

元素	${\rm SiO_2}$	T iO ₂	Al_2O_{3}	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	$\mathrm{P}_{2}\mathrm{O}_{5}$	W	Sn	M o
绿I	72.79	0.12	11.93	0.85	1.70	0.04	0.42	1.31	2.25	4.77	0.03	29.73	25.33	2.01
钾I	53.84	0.08	13.21	4.85	3.42	0.02	0.40	6.18	0.60	7.94	0.04	187.00	134.67	1.88
绿Ⅱ	75.54	0.08	11.67	0.59	0.98	0.03	0.22	1.21	1.90	5. 98	0.02	45.50	39.70	1.78
钾II	59.13	0.07	15.99	1.39	0.72	0.04	0.14	2.98	0.52	13.60	0.01	196.00	153.00	1.31
钾Ⅲ	51.96	0.04	13.84	5.37	1.62	0.02	0.13	4.82	0.39	11.05	0.02	170.00	374.00	0.63
未蚀变	74.73	0.07	12.42	0.35	1.42	0.06	0.14	1.05	3.34	5.04	0.02	7.65	17.30	2.73
元素	Bi	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mn	Sr	Ba	Ag	Cd	Be	As	\mathbf{Sb}
 元素 绿 I	Bi 3. 56	Cu 47. 15	Pb 53. 53	Zn 25.98	Co 2. 57	Ni 3.37	M n 305.00	Sr 64. 38	Ba 48. 98	Ag 0. 08	Cd 0. 11	Be 13.26	As 57. 53	Sb 3. 31
 元素 绿Ⅰ 钾Ⅰ	Bi 3. 56 123. 10	Cu 47. 15 12563. 67	Pb 53.53 59.77	Zn 25.98 267.33	Co 2. 57 66. 91	Ni 3. 37 4. 06	M n 305.00 240.67	Sr 64. 38 150. 33	Ba 48.98 169.67	Ag 0. 08 16. 60	Cd 0. 11 0. 48	Be 13.26 8.64	As 57.53 300.00	Sb 3. 31 9. 68
	Bi 3. 56 123. 10 6. 82	Cu 47. 15 12563. 67 98. 20	Pb 53. 53 59. 77 67. 50	Zn 25.98 267.33 29.10	Co 2.57 66.91 1.71	Ni 3. 37 4. 06 2. 50	M n 305.00 240.67 244.00	Sr 64. 38 150. 33 75. 10	Ba 48.98 169.67 56.70	Ag 0. 08 16. 60 0. 13	Cd 0. 11 0. 48 0. 17	Be 13. 26 8. 64 14. 85	As 57.53 300.00 79.45	Sb 3. 31 9. 68 3. 28
<u>元素</u> 绿 I 钾 I 绿 II 钾 II	Bi 3.56 123.10 6.82 87.50	Cu 47. 15 12563. 67 98. 20 4656. 00	Pb 53. 53 59. 77 67. 50 100. 00	Zn 25.98 267.33 29.10 162.00	Co 2. 57 66. 91 1. 71 8. 63	Ni 3. 37 4. 06 2. 50 2. 50	M n 305.00 240.67 244.00 218.00	Sr 64. 38 150. 33 75. 10 156. 00	Ba 48.98 169.67 56.70 225.00	Ag 0. 08 16. 60 0. 13 19. 90	Cd 0. 11 0. 48 0. 17 0. 95	Be 13. 26 8. 64 14. 85 17. 30	As 57.53 300.00 79.45 300.00	Sb 3. 31 9. 68 3. 28 59. 10
元素 绿Ⅰ 钾Ⅰ 绿Ⅲ 钾Ⅲ 钾Ⅲ	Bi 3.56 123.10 6.82 87.50 78.10	Cu 47. 15 12563. 67 98. 20 4656. 00 15000. 00	Pb 53.53 59.77 67.50 100.00 289.00	Zn 25.98 267.33 29.10 162.00 805.00	Co 2. 57 66. 91 1. 71 8. 63 2. 90	Ni 3. 37 4. 06 2. 50 2. 50 2. 50	Mn 305.00 240.67 244.00 218.00 157.00	Sr 64. 38 150. 33 75. 10 156. 00 129. 00	Ba 48.98 169.67 56.70 225.00 224.00	Ag 0. 08 16. 60 0. 13 19. 90 43. 90	Cd 0. 11 0. 48 0. 17 0. 95 7. 16	Be 13. 26 8. 64 14. 85 17. 30 5. 16	As 57. 53 300. 00 79. 45 300. 00 300. 00	Sb 3. 31 9. 68 3. 28 59. 10 300. 00

测试单位:个旧 308 矿产测试有限公司, 2008;量的单位: w 常量元素 / %, w 微量元素 / 10⁻⁶。

3.3 计算

Al₂O₃的质量分数在各蚀变带中的变化范围大 部分< 10%,只有蚀变带钾 II、钾 III 中 Al₂O₃的质 量分数变化较大,可能与蚀变的多期(次)性以及强 度有关。Al₂O₃符合在蚀变过程中质量得失率小的 条件,因此选其作为不活动元素。利用公式(1)和 (2)分别计算 k 和 ΔC_i , ΔC_i 的计算结果见表 2。利 用表 1 数据做出元素的 $C_i^{\Lambda} - C_i^{0}$ (图 3),图中斜率 k为通过原点的斜线,位于斜线上方的元素为带入元 素(组分),位于下方者则为迁出元素(组分),在斜线 上或附近的为质量分数不变元素(组分)。

表 2 各蚀变带的常量元素和微量元素变化

c

	1 able 2 Variation of trace, constant elements of different afteration zones													
元素	${\rm SiO_2}$	T iO ₂	Fe_2O_{3}	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	$P_2 O_5$	W	Sn	M o	Bi
绿I	1.05	0.05	0.54	0.35	- 0.01	0.30	0.32	- 1.00	- 0.08	0.01	23.30	9.07	- 0.64	2.90
钾I	- 24.10	0.01	4.21	1.80	- 0.03	0.23	4.76	- 2.78	2.43	0.01	168.21	109.35	- 0.96	114.96
绿 II	5.67	0.01	0.28	- 0.38	- 0.02	0.09	0.24	- 1.32	1.32	0.00	40.77	24.95	- 0.84	6.45
钾II	- 28.80	- 0.02	0.73	- 0.86	- 0.02	- 0.03	1.27	- 2.94	5.52	- 0.02	144. 59	101.54	- 1.71	67.15
 钾 Ⅲ	- 28.10	- 0.04	4.47	0.03	- 0.04	- 0.02	3.28	- 2.99	4.88	- 0.01	144.91	318.33	- 2.17	69.28
元素	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	M n	Sr	Ba	Ag	Cd	Be	As	\mathbf{Sb}	
绿I	34.49	14.92	7.34	1.03	1.01	8.53	43.52	36.39	0.07	0.07	5.90	46.89	2.65	
钾I	11800.70	15.41	231.71	61.28	1.32	- 82.67	117.88	144.96	15.60	0.41	0.22	269.13	8.30	
绿 II	89.91	31.04	11.27	0.17	0.16	- 49.32	56.43	45.74	0.13	0.15	7.89	71.56	2.69	
钾II	3601.88	36.87	106.1	5.05	- 0.56	- 139.67	97.67	160.17	15.45	0.70	5.53	220.02	45.11	
钾Ⅲ	13446.38	218.55	702.71	0.95	- 0.26	- 168.11	92.26	186.42	39.39	6.39	- 3.28	256.22	268.42	

量的单位: w 常量元素 / %, w 微量元素 / 10⁻⁶。

4 元素迁移规律

4.1 微量元素

在划分的 2 个不同类型蚀变带中, 同一个蚀变带 中微量元素在不同深度的变化基本上是一致的。从 表 2 以及图 3 可以看出, 绿帘石化带迁出的微量元素 有 M o 和 Mn, 带入的微量元素有 Ag, Bi, As, Cu, W, Sb, Ba, Cd, Sr, Sn, Be, Pb, Zn, Co 和 Ni; 钾长石化带中 迁出的微量元素有 Mo 和 Mn, 带入的微量元素有 Ag, Cu, Sb, Bi, Cd, W, As, Zn, Co, Ba, Sn, Sr, Pb, Be 和 Ni。2 个蚀变带总体上迁出元素都是 Mo 和 Mn, 其他 微量元素的质量分数均有增加, 只是增加的程度不 一, 这可能是由于多期的热液流体交代围岩而造成 的, 暗示热液流体富含这些微量元素。

研究区中成矿元素主要为 Cu, Sn 和 W, 这 3 种 元素属于大量带入的元素,尤其是 Cu 元素的增加 极为明显,这与黄铜矿化的出现是一致的。亲硫元 素 Ag, As, Sb, Bi, Pb 和 Zn 的带入是显著的, 尤其 是 Ag, As, Sb 和 Bi 均出现较大的增加幅度, Ag 比 Cu的带入更为强烈;亲铁元素 Co和 Ni的增加较 小,这可能与黄铁矿化的出现有关; Sr 和 Ba 为亲石 分散元素, Sr 主要以类质同象替代 Ca 和 K 分散于 造岩矿物中, Ba 则主要以类质同象替代 K, 二者均 与K密切相关,在钾长石化的过程中,Sr和Ba可以 随 K 的增加而增加; Cd 为亲铜分散元素, 在热液交 代的过程中,Cd与Zn密切相关,进入闪锌矿中^[12]; Be 的增加可能与钾长石化有关, 热液交代作用中 F^- , $C\Gamma$, H_2O , CO_2 等组分的参加有利于原先赋于 长石中的 Be 迁移和重新分配; Mo 主要分布于花岗 岩的斜长石中,在围岩蚀变过程中,钾长石化使 Mo 有一定的迁出。Mn在岩浆岩中主要赋存于硅酸盐 矿物中,质量分数的减少可能与钾长石化有关。

4.2 常量元素

在同一种类型的蚀变带中,不同深度蚀变岩的 常量元素变化大体一致,从一个侧面反映了蚀变带 划分的合理性。从表 2 和图 3 可以看出,在绿帘石 化带中增加的常量元素有 MgO, Fe2O3, TiO2, P2O5, CaO, K2O 和 SiO2, 质量分数减少的常量元素 (从多到少)有 Na2O, MnO 和 FeO; 钾长石化带中增 加的常量元素(从多到少)有 Fe2O3, CaO, K2O, MgO 和 FeO, 质量分数减少的元素(从多到少)有 Na2O, MnO, SiO2, TiO2 和 P2O5。二者均增加的常 量元素有 $Fe_2 O_3$, CaO, K₂O 和 M gO, 均减少的常量 元素有 N $a_2 O$ 和 M nO, 说明热液流体富含碱性元素 以及 Fe^{3+} , 并且有如下反应:

> N aAlSi₃O₈+ K⁺ \rightarrow KAlSi₃O₈+ Na⁺ Ca²⁺ + 2F⁻ \rightarrow CaF₂

 $3NaAlSi_{3}O_{8} \cdot CaAl_{2}Si_{2}O_{8} + Ca(OH)_{2} + 2Fe^{3+}$ $\rightarrow 2Ca_{2}Al_{2}Fe^{3+}Si_{3}O_{12}(OH) + 3NaAlSi_{3}O_{8} + 2Al^{3+}$

研究区内钾长石化极其发育, 热液中的 K⁺ 交 代斜长石中的 Na⁺, 广泛生成钾长石, 带入 K₂O, 带 出 N a₂O, 并且 Na₂O 组分的减少量 最大; Fe₂O₃, CaO 和 MgO 这 3 种常量元素质量分数的增加较为 显著, 这与萤石化、电气石化(主要是镁电气石)和黄 铁矿化等围岩蚀变发育相符合; SiO₂ 在钾长石化带 中减少约 35%, 而在绿帘石化带中稍有增加, 可能 与钾长石化带中发育的萤石化、电气石化蚀变有关; FeO 在绿帘石化带中稍有减少, 在钾长石化带中增 加, 与成矿环境的氧化还原性有关。TiO₂ 和 P₂O₅ 在绿帘石化带中稍微增加, 在钾长石化带中稍微减 少, 这两种组分均可作为围岩蚀变过程中的惰性成 分, 在蚀变过程中质量得失率均较小。

5 讨论及结论

(1) 热液流体中富含 K⁺ 离子, 红色的钾长石化 现象可作为找矿标志之一。研究区内钾长石化程度 高, 大部分地区均可见不同程度的钾长石化现象, 主 要表现为斜长石被钾长石交代形成微斜长石和条纹 长石等。发生钾交代的岩石为成矿有利标志^[13], 这 是因为碱质交代过程中, 某些类质同象容量较大的 稀有成矿元素" 载体" 被类质同象容量小的"清洁矿 物"所取代^[14], 有利于成矿元素的迁移和富集, 对成 矿是有利的。

(2) Fe² O³ 在 2 类蚀变带中均表现为相对迁入, 并且在钾长石化带中迁入表现更为明显,从一个侧 面反映了矿体的形成环境应为氧化环境。热液流体 中富含铁元素,与普遍可见的黄铁矿化蚀变相一致。

(3) SiO₂ 在钾长石化带中表现为相对大量迁 出, 迁出约 35%, 在绿帘石化带中表现为相对少量 迁入。SiO₂ 组分应该在与成矿作用关系密切的萤 石化、电气石化的蚀变过程中迁出, 因此 SiO₂ 组分 的存在不利于成矿元素富集, 成矿作用与其质量分 数具负相关性。



图 3 不同蚀变岩- 未蚀变岩的 C⁺- C^{*} 图

Fig. 3 C_i^A - C_i⁰ diagram of different altered rock vs unalteredrock
 图中一些元素质量分数同时乘以一个系数,以便于观察,不影响结果

(4)2 类蚀变带中带入的微量元素种类较多并 且十分一致,除 Mo 和 Mn 外,其他微量元素的质量 分数均为增加,说明热液流体富含这些微量元素。 其中成矿元素 Cu, Sn, W 以及亲硫元素的带入最为 明显,其他微量元素的变化则与钾长石化、黄铁矿化 等蚀变具有密切的联系。

(5)较为发育的围岩蚀变类型有萤石化、电气石 化和黄铁矿化,显示出热液流体富含 F 和 S 元素的 特点。通常认为热液作用中的金属元素是以络合物 形式迁移,主要的络合物形式有卤化物络合物、硫化 物络合物、硫氢化物络合物等^[15]。因此热液中富含 F 和 S 对于成矿元素的迁移与沉淀是极为有利的。

综上所述, 矿床产于富碱、氧化环境中, 热液的 多期(次) 性造成了钾长石化带与绿帘石化带的交替 出现, 其中的红色钾长石化是找矿的重要标志; Fe2O3 在钾长石化带中有大量迁入, 而 SiO2 在钾长 石化带中有大量迁出; 微量元素的变化在两个蚀变 带中非常一致, 迁出的元素都是 Mo 和 Mn, 其他的 微量元素均有所增加,因此除主要成矿元素 Cu, Sn 和 W 外,可以考虑其他金属元素的综合利用。热液 中富含的 K, F 和 S 元素为成矿元素的迁移和沉淀 提供了基础,对于成矿是有利的。

参考文献:

- [1] 马振飞,陈图宏.云南个旧塘子凹锡多金属矿床地质特征[J]. 矿物学报,2001,21(4):578-584.
- [2] Gresens R L. Composition volume relation of metasomatism[J]. Chem. Geol., 1967, 2: 47-65.
- [3] Grant J A. The isocon diagram a simple solution to Gresens' s equation for metasomatic alteration [J]. Econ. Geol., 1986, 81: 1976–1982.
- [4] 李双保. 热液交代蚀变作用元素迁移定量研究方法在矿床、岩 石研究中的应用[J]. 国外前寒武纪地质, 1994(1): 33-43.
- [5] 杨新岳,谢国源,李志纯. 变形过程中的流体-围岩作用和变形岩石质量平衡[J].中国科学(B辑), 1995, 25(3): 329-336.
- [6] O' Hara K, Blackburn W H. Volume-loss model for trace element enrichment in myloites[J]. Geology, 1989, 17: 524 527.
- [7] O' H ara K. Fluid flow and volum e loss during mylonitizion: an origin for phyllonite in an overthrust setting, North Caralia

USA[J]. Tectono physics, 1988, 156: 21-36.

- [8] Zhong Zengqiu, You Zhendong. Fluid-Rock interaction of Shear Zones in continental Crust: as evidenced by Xincheng-Xishui and Hetai shear Zones [J]. Journal of China University of Geosciences, 1995, 2: 134-138.
- [9] 魏俊浩,张德会,王思源,等.剪切带中矿化与非矿化地段流体/岩石相互作用的差异性研究[J].地质科学,1999,34(4): 473-484.
- [10] 魏俊浩,刘丛强,张德会,等. 蚀变岩岩石质量平衡及主成分 变异序列[J]. 地球化学,1999,28(5):479-486.

- [11] 魏俊浩,刘丛强,丁振举. 热液型金矿床围岩蚀变过程中元素
 迁移规律[J]. 矿物学报,2000,20(2):200-206.
- [12] 牟保磊.元素地球化学[M].北京:北京大学出版社,1999: 181-182.
- [13] 谢荣举,彭省临. 岩石钾质变化及钾交代与成矿关系[J]. 大 地构造与成矿学, 1998, 22(3): 274 279.
- [14] 南京大学地质学系.地球化学[M].第二版.北京:科学出版 社,1979:296 300.
- [15] 殷纯嘏. 地质中的基础化学问题一百例[M]. 北京: 地质出版 社, 1980: 77-86.

Quantitative study of elements migration during the wall-rock alteration on Gejiu altered rock-type copper-polymetallic deposit LI Pei, DENG Xiao-hu, CHEN Shou-yu

(1. China University of Geosciences (Wuhan) Geological Processes and Mineral Resources, State Key Laboratory, Wuhan, 430074, China;
2. China University of Geosciences (Wuhan) Resources Institute, Wuhan, 430074, China)

Abstract: The newly discovered altered rock-type copper-polymetallic deposit in the rock body of Tangzi' ao depression zone is formed under alkali-rich and oxidization setting. K-feldspar is one of the prospecting marks. Multi-metal elements can be comprehensively recovered. The deposit is special in alteratiion zoning, i.e. the alternated K-feldsparization and epidotization that may be related to episodic hydrothermal fluid pulses. By quantitative calculation of altered rock and ore samples, the author find out the migration laws of the constant elements and the main ore-forming elements and their associated elements, which provide a basis for prospecting in the future.

Key Words: Gejiu copper-polymetallic deposit; altered rock; element migration; quantitative calculation; Yunnan province