

岩石化学特征及其与成矿的关系

西南冶金地质勘探公司地质研究所 李文桦

云南省的一个主要斑岩型矿带——金沙江、红河矿带，属藏东—滇西斑岩铜（铅）矿带的南段。近年来，玉龙矿带已成为很有远景的斑岩矿带之一。但滇西段的找矿工作却进展较缓，对找矿前景认识也不一致。岩带的区域地质研究，包括斑岩型铜、铅等成矿作用的研究，尚很薄弱。本文从岩石化学入手，探讨滇西段岩石化学的基本情况，并着重讨论含矿与非含矿岩群、不同矿种岩群的岩石化学特征，进而从岩石化学这个侧面为矿带找矿工作提供有益的参考资料。

岩（矿）带地质简况

斑岩群多分布于北北西—北西向的金沙江—红河深断裂的两侧（图1），紧接藏东的江达—芒康岩带，向南延入云南境内百余公里。再南有德钦里农、中甸红山、雪鸡坪、剑川老君山、洱源北衙、祥云马厂箐、巍山大莲花山、姚安—南华、红河—金平铜厂等八片。它们与深断裂的地表距离为数公里至数十公里。斑岩群与深断裂关系密切。

斑岩群的侵入时代，除少数属燕山期（个别为印支期）外，大部属于喜山期。岩体同位素年

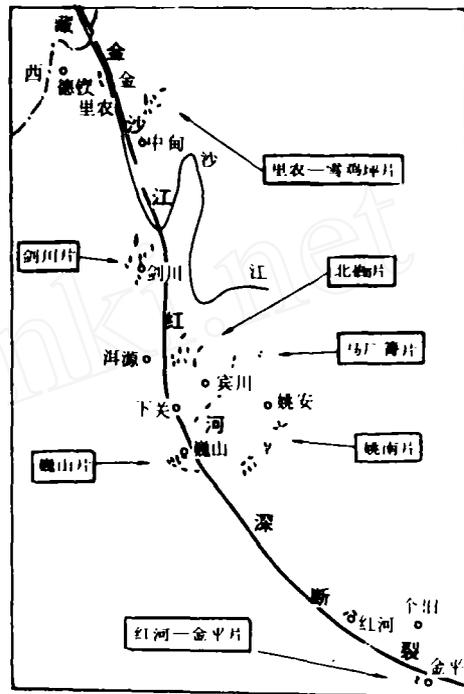


图1 藏东—滇西斑岩型铜、铅矿带（滇西段）岩群分布略图

龄为15.3~92百万年（表1）。

岩带斑岩群侵入时代

表1

| 岩带名称 | 剑川 玉召块 | 鹤庆 松林 | 宾川 干海子 | 祥云 马厂箐 | 巍山 大莲花山 | 金平 铜厂 | 宾川 宝丰寺 | 玉龙 |
|----------------|-----------|----------|-----------|----------------|------------|----------|----------------|-----------|
| 围岩地层时代 | N | T | T | O ₁ | T-J | O | D ₁ | T |
| 同位素年龄 (百万年) | 92 | 61 | 62 | 46.5~61.8 | 48 | 62* | 51~61 | 15.3~57.3 |

* 系与铜厂岩体岩性相似的邻近个旧长岭岗、白云山正长岩、霞石正长岩数据

主要岩石类型为中碱性和中酸性岩，沿带穿插交替分布（表2）。表中1~3类多为含铜（铅）矿的主要类型；4类多为铜（铅）铅（铁）矿的类型；5类多为铅（铁）矿的类型。

侵入于古生代—中生代围岩中的各个岩群，产状多为浅成、超浅成相，喷出相极少。除局部地区（如云南剑川、丽江，西藏江达第三纪地层）有喜山期火山岩外，绝大部分地区无大面积同期

火山岩组分布。

斑岩型矿床，除铜（钼）矿外，尚有大型斑岩（铅铁）矿：不少岩群含有钨、锡、金矿化。如玉龙、马厂箐、铜厂均为铜（钼）型矿床；铅、铁矿床（点）在姚安片、北衙片及玉龙均有分布。同时，矿区和矿点附近岩群铜、钼、铅含量普遍较高，比国外同类岩浆岩高几倍到几十倍（表3），反映出岩带矿质浓集程度高的特点。

岩带岩石类型统计表 表2

| 岩石类型 | 酸性 | 中酸性 | 中性 | 中碱性 | 碱性 | 岩带 SiO ₂ 平均值, % |
|--------|------|------|-----|------|-----|-------------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | |
| 岩群个数 | 5 | 7 | 2 | 14 | 6 | |
| 占全带百分比 | 16.1 | 22.6 | 6.5 | 45.2 | 9.7 | 64.7 |

注：酸性岩为花岗（斑）岩、石英斑岩、流纹岩等；中酸性岩为二长（斑）岩、石英二长（斑）岩、花岗闪长岩、二长花岗（斑）岩、石英闪长岩；中性岩为闪长斑岩等；中碱性岩为正长（斑）岩（常与二长斑岩紧密伴生）、少数为粗面岩、安粗岩、粗面粗玄岩、粗面流纹岩；碱性岩为霓辉岩、霓辉粗面岩、霓霞岩、白榴正长岩、白榴石粗岩、方钠正长岩、碱性辉石正长岩。

岩带矿区、矿点附近岩群

主要元素含量(ppm)表 表3

| 主要元素 | 铜 | 钼 | 铅 | |
|--------------------|----------|--------|----------|-------|
| 全段平均 ¹⁾ | 84 | 3.4 | 179 | |
| 全段极大值 | 118 (剑川) | 5 (北衙) | 300 (姚安) | |
| | 110 (巍山) | | 226 (北衙) | |
| 国内 | 正长岩 | 5 | 0.6 | 12 |
| | 闪长岩 | 35 | 0.9 | 15 |
| 国外 | 酸性岩 | 10~30 | 1~1.3 | 15~20 |

1) 据刘忠俊等；

2) 据 Turekian and Wedepol (1961)；

Виноградов (1962)

藏东、滇西两段岩群有明显差异。藏东多属钙碱系列，滇西多属偏碱性。但据有限资料，两段亦有相似之处。例如，滇西也有相当数量的钙碱性岩群（表2）；藏东更有中碱性正长岩类；在滇西和玉龙温泉断裂带内，都有与富碱斑岩关系密切的铅—多金属矿分布；玉龙岩群含碱量（8.78%）比我国同类岩石偏高，若干矿化指数、图解亦与滇西斑岩群相似（详后）。

岩（矿）带岩石化学特征

1. 基本岩石化学特征 从图2的分布情况可以看出，具工业规模的七个铜、铅矿床，岩群的点群趋势直线基本一致（倾角约50°），显示出相似的成生机制。

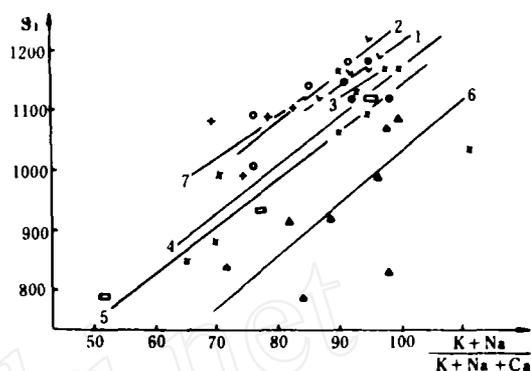


图2 岩带(K+Na)/(K+Na+Ca-Si)

点群分布图

1—玉龙；2—雪鸡坪；3—北衙；4—马厂箐；

5—红梅；6—姚安；7—铜厂—长安冲

成生机制不同的岩群，其钙、硅量应具有不同的相关变化。所以，研究二者的相关性，有助于探讨岩群的内在联系。钙、硅相关指数系指钙、硅变化趋势直线与钙、硅直角坐标系中SiO₂水平轴夹角的正切值。

对十个含矿（化）岩群图解所得到的钙、硅相关指数列于表4。

含矿（化）岩群钙、硅相关指数 表4

| 岩群名称 | 雪鸡坪 | 马厂箐 | 大莲花山 | 石冠山 | 红梅 |
|------|------|------|-------|------|------|
| 指数 | 0.08 | 0.11 | 0.17 | 0.10 | 0.10 |
| 岩群名称 | 姚安铅矿 | 直隼 | 铜厂长安城 | 小龙潭 | 玉龙 |
| 指数 | 0.05 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |

从上述岩群（中碱性、钙碱性岩各半）的相关指数看出，各值一般在0.08~0.11之间，差别较小。钙、硅演化的这种相似性，显示出岩群成生机制的相似性。

对碱值的研究，我们试用了以下指数和图解。在久野的Na₂O+K₂O-SiO₂相关图（图3，共26个岩群）上，绝大多数落入碱质玄武岩系列，

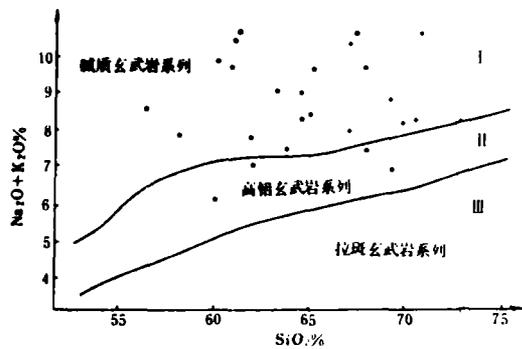


图3 岩带(K₂O + Na₂O) — SiO₂图

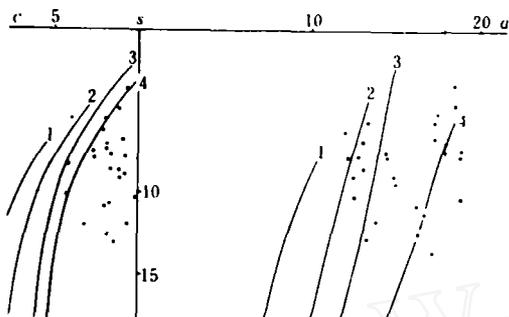


图4 岩带查氏火山岩自然共生组合图解
1—喇里型；2—黄石公园型；3—埃特型

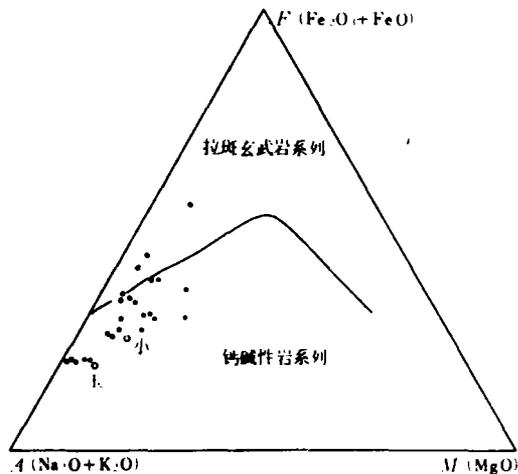


图5 岩带麦克唐纳AFM三角图解

说明本带属于钙碱系列的岛弧带的的可能性甚小。综合查氏火山岩自然共生组合图(图4,共26个岩群),主要为碱性至碱钙性,少数为钙碱性。说

明岩带碱量偏高,但又不是极富的类型。关于赖特指数(表5),曾与我国钙碱性、碱性有关岩类*进行了比较,岩带(2.54)比钙碱性(2.06)大,但比碱性(3.9)小,也说明岩带碱量偏高,但也不属于图解(图5)范围。其特点是点群分布集中,且靠近A端,反映了岩群的内在联系和偏碱特点。

岩带含矿(化)岩群三指数表 表5

| 指数名称 | 统计件数 | 最大值 | 最小值 | 平均 |
|------|------|------|------|------|
| 里特曼 | 16 | 5.7 | 1.9 | 3.4 |
| 皮科克 | 9 | 61 | 46 | 53.6 |
| 赖特 | 16 | 3.40 | 1.90 | 2.51 |

注:统计的岩群中,中碱-碱性岩占4~9个;

钙碱性岩占5~7个。

皮科克指数(表5),根据平均值可划入碱钙性(按四分法)或碱性(按二分法)。其特点是数值分散而总体偏碱。

里特曼指数(表5),岩带平均值(3.4)比我国钙碱性(1.9)大而比碱性小,但偏向碱性。联系两极值可看出,其特点也是数值分散而总体偏碱。

戈蒂勒-里特曼图解(图6)有助于了解岩石化学偏碱的成岩构造背景。戈蒂勒提出判别造

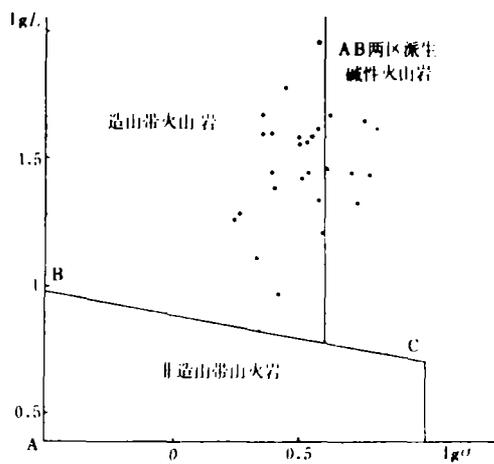


图6 岩带戈蒂勒-里特曼图解

* 这里所指的岩类及其化学数据,与表6的“钙碱标”、“碱标”的注释相同

山运动与否的 $L = (Al_2O_3 - Na_2O) / TiO_2$ 公式。据岩带 26 个样品统计, $L = 33.5$ (12.9~91.5)。

从 L 大于 10、三分之二点群落入造山带来看, 反映岩浆侵入与造山作用有关。该造山运动可能是喜山期大陆与大陆相撞的喜马拉雅造山运动。在它所波及的范围内, 局部应力集中, 从而导致大陆中古构造——金沙江、红河深断裂的活化。深熔岩浆再经过上部厚壳层的改造, 从而形成了这套岩化组分分布域广、差异大、总体属碱性的浅成侵入体。

2. 岩(矿)带不同矿种岩群和非矿岩群的岩石化学特征 按成矿性可将斑岩群划分为三种类型, 即含铜(钼)矿、含铅(铁)矿和非矿岩群(分别称第一、二、三岩群)。第一岩群包括玉龙、雪鸡坪、红山、马厂箐、铜厂、长安冲岩群;

第二岩群包括姚安铅矿、北衙、老马尖、红梅、石冠山岩群。下面分别讨论能够有效区别三岩群的岩石化学数值。

(1) 碱及碱、硅比值(表 6、图 7): 含矿岩群存在于一个区间内, 可相互区别。

Na 值偏高, 其氧化物百分含量(下同)大于 2.79, 平均 3.36, 变化范围 2.79~3.85 时, 有利于铜(钼)富集; 含量小于 2.82 (个别点除外), 平均 2.52, 范围在 1.25~2.82 时, 有利于铅(铁)富集。

和 Na 值相反, K 值偏低, 即小于 4.93, 平均 4.20, 范围在 2.79~4.93 时, 有利于铜(钼)富集; K 值偏高, 即大于 6.21, 平均 6.83, 范围在 6.21~8.01 时, 有利于铅(铁)富集。同时, 尚可区分第二含矿岩群与非矿的第三岩群。K 值小于 6.52 时不利于铅(铁)富集。

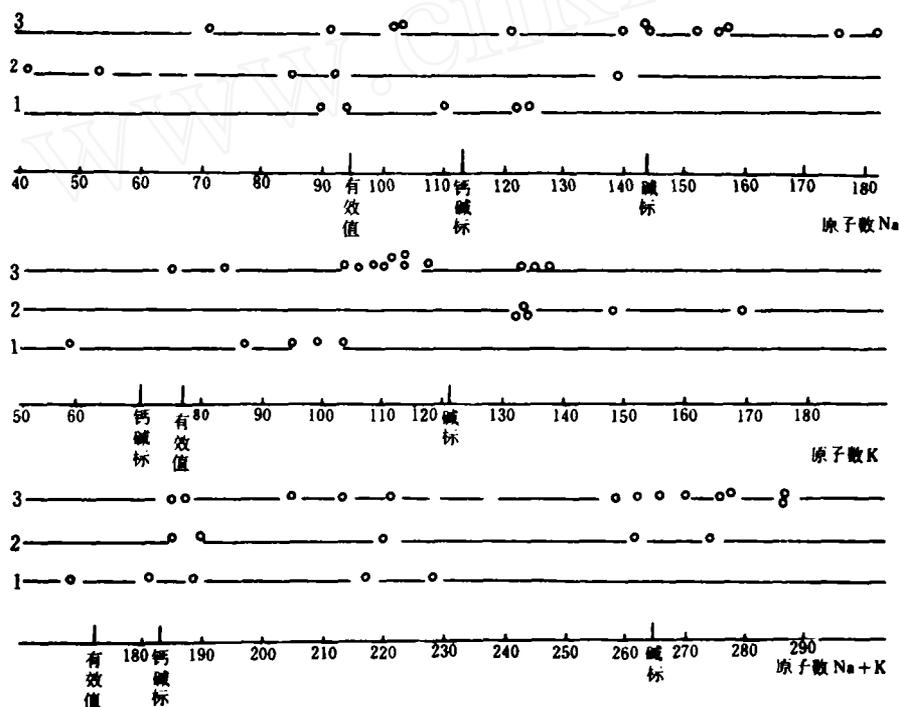


图 7 岩带第一、二、三岩群 K、Na、K + Na 值特征图
1—第一岩群; 2—第二岩群; 3—第三岩群

各含矿岩群的 K_2O/Na_2O , K_2O/SiO_2 , $(K_2O + Na_2O)^2/SiO_2$ 数值也有区别。偏低时, 即 K, Na 近于相等或 K 略大于 Na, 对铜(钼)富集有利; 偏高时, 即 K 大于 Na 半倍至

二倍多, 对铅(铁)富集有利。

2. 钙、镁、铝值(表 6、图 8): 两含矿岩群存在于一个区间内, 相互区别明显。

第一、二岩群的 Ca 值平均分别为 2.31 和

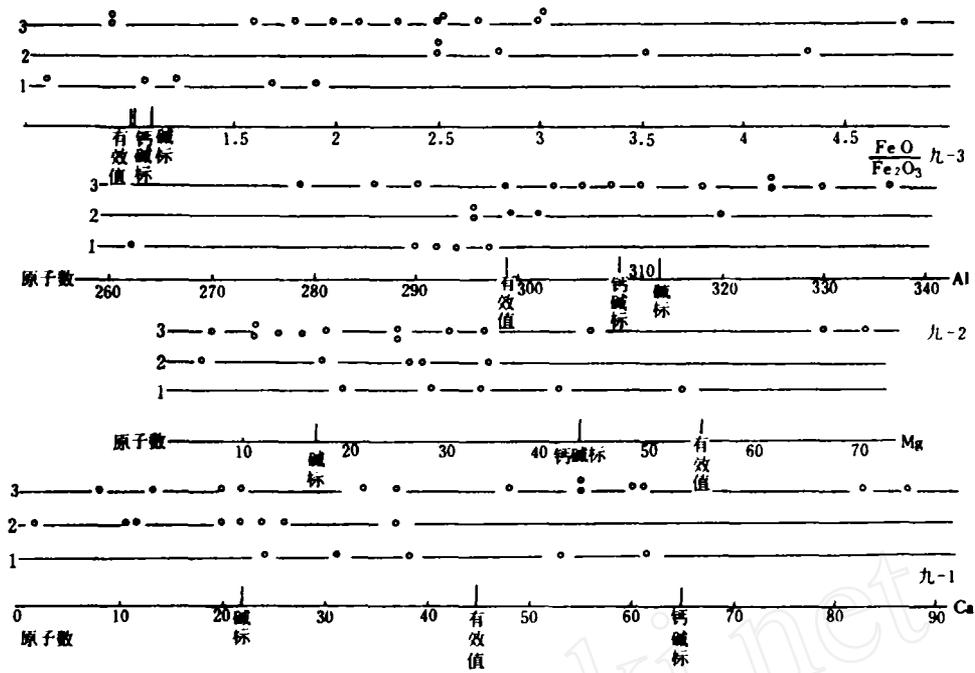


图8 第一、二、三岩群 Fe_2O_3/FeO , Ca, Mg, Al 值特征图
1—第一岩群; 2—第二岩群; 3—第三岩群

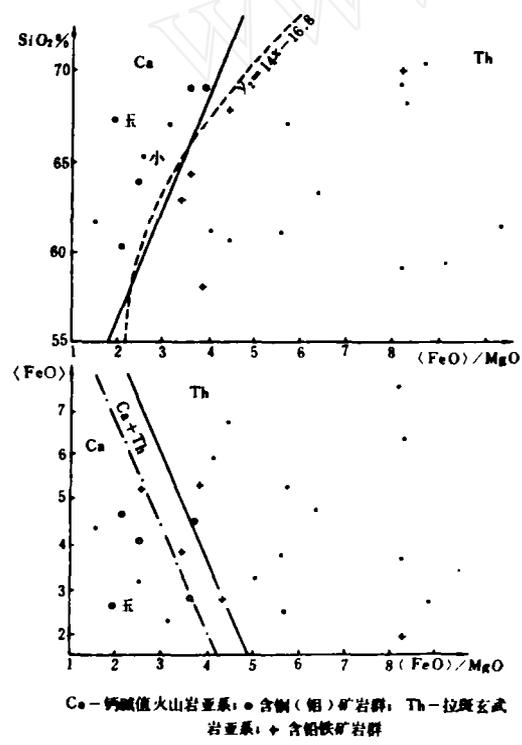


图9 岩带 $\langle FeO \rangle / MgO$ 与 SiO_2 , $\langle FeO \rangle$ 变异图

1.33。当此值大于1.15, 范围在1.15~3.42时, 有利于铜(钼)富集; 小于2.06, 范围在0.67~2.06时, 有利于铅(铁)富集。

第一、二岩群的 Mg 值, 平均分别为1.44和0.89。此值大于0.8, 范围在0.8~2.15时, 有利于铜(钼)富集; 小于1.39, 范围在0.24~1.39时, 有利于铅(铁)富集。

Al 值与 Ca, Mg 值不同, 第一岩群不是大于而是小于第二岩群。从图8可明显看到, 当 Al 值小于15.14时, 有利于铜(钼)富集; 大于15.08有利于铅(铁)富集。

3. Fe_2O_3/FeO 值(表6、图8): 两含矿岩群亦存在于一个区间, 相互差别明显。低者有利于铜(钼)富集; 高者有利于铅(铁)富集。

按岩石化学和岩群成矿的密切程度, 表6列出了“较为密切”和“一般”两类。

另外, $\langle FeO \rangle / MgO$ 和 SiO_2 、 $\langle FeO \rangle$ 变异图(图9), 也有助于成矿的判别。从图上可以发现, 含铜(钼)、含铅(铁)的岩群, 各落在一个区间, 第一岩群落入钙碱火山亚系, 而且玉龙这个大矿距两亚系分界区最远; 第二岩群落在拉斑玄武岩亚系。两岩群分界线为一曲线, 笔者

用 $y^2 = 14x - 16.8$ 的近似方程来表示。这是不以惯常使用的碱值,而以酸度值、暗色元素的综合来表示岩石成矿性的一种图解,值得注意。但由于统计面不宽,是否有当,尚待证实。

为了证实本带岩石化学与成矿的对应关系是否与含矿斑岩的一般规律相符,我们将岩带的岩石化学特征值,与我国含铜斑岩及岩浆岩钙碱系列中酸性岩、碱性岩的相应平均值(分别简称有

效值、钙碱标和碱标)作了对比,发现当接近钙碱标和有效值时有利于铜(钼)成矿,反之则不利;当接近(稍低于)碱标时,往往有利于铅(铁)成矿。例如第一岩群的Na量是3.36,与钙碱标3.50接近;第二岩群为2.52,相差较大。第一、二岩群的K量分别是4.20和6.83,而钙碱标是3.30,可见第一岩群接近此值。从图可直观地看出,第一岩群分居钙碱标之两侧,第二岩群

岩带(滇西段)不同矿种含矿岩群岩石化学综合表

表6

| 密切程度 | 项 目 | 统计方式 | 含铜(钼) | 含铅(铁) | 非矿岩群 | 富集矿种 | | 钙碱标 | 有效值 | 碱标 |
|----------|--|----------|----------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | 矿岩群 | 矿岩群 | | 铜、钼 | 铅、铁 | | | |
| 较为密切的岩化值 | Na ₂ O (%) | 平均 范围 | 3.36 2.79~3.85 | 2.52 1.25~2.82 | 4.21 2.20~5.65 | >2.79 | <2.82 | 3.50 | 2.93 | 4.48 |
| | K ₂ O (%) | 平均 范围 | 4.20 2.79~4.93 | 6.83 6.21~8.01 | 5.19 3.61~6.52 | <4.93 | >6.21 | 3.30 | 3.62 | 5.71 |
| | CaO (%) | 平均 范围 | 2.31 1.15~3.42 | 1.33 0.67~2.06 | 2.53 0.51~4.86 | >1.15 | <2.06 | 3.66 | 2.51 | 1.26 |
| | MgO (%) | 平均 范围 | 1.44 0.8~2.15 | 0.89 0.24~1.39 | 1.10 0.31~2.68 | >0.8 | <1.39 | 1.72 | 2.19 | 0.71 |
| | Al ₂ O ₃ (%) | 平均 范围 | 14.66 13.38~15.14 | 15.43 15.08~16.30 | 15.76 14.23~17.15 | >15.14 | <15.08 | 15.82 | 15.26 | 15.97 |
| | Fe ₂ O ₃ /FeO | 平均 范围 | 1.30 0.62~1.90 | 2.83 2.50~3.50 | 2.30 0.90~4.80 | <1.9 | >2.5 | 1.01 | 0.98 | 1.07 |
| 一般岩化值 | Na ₂ O + K ₂ O (%) | 平均 范围 | 7.55 6.22~8.78 | 9.34 7.84~10.77 | 9.37 7.54~10.83 | >8.78 | <7.84 | 6.80 | 6.55 | 10.19 |
| | K ₂ O/Na ₂ O | 平均 范围 | 1.27 0.81~1.67 | 3.26 1.60~3.81 | 1.29 0.80~1.74 | >1.67 | <1.60 | 0.94 | 1.41 | 1.28 |
| | K ₂ O/SiO ₂ | 平均 范围 | 0.06 0.05~0.08 | 0.11 0.10~0.12 | 0.08 0.06~0.11 | >0.08 | <0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.09 |
| | $\frac{[K_2O + Na_2O]^2}{SiO_2 - 43}$ | 平均 范围 | 2.5 1.9~3.2 | 4.1 2.5~5.7 | 4.4 2.3~6.6 | >3.2 | <2.5 | 1.89 | 2.36 | 2.92 |
| | $\frac{Na_2O + K_2O}{SiO_2}$ | 平均 范围 | 0.11 0.10~0.12 | 0.14 0.12~0.16 | 0.16 0.13~0.18 | >0.12 | <0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.15 |
| | $\frac{Na_2O + K_2O}{Al_2O_3}$ | 平均 范围 | 0.5 0.4~0.6 | 0.6 0.5~0.7 | 0.6 0.5~0.7 | | | 0.41 | 0.43 | 0.64 |
| 统计个数 | | | 5 | 5~8 | 9~13 | | | | | |

注:我国含铜斑岩岩化值(简称有效值)引自宁奇生、任启江(1979);酸性岩、碱性岩岩化值(分别简称钙碱标、碱标)引自黎彤、饶纪龙(1962)。其中,酸性岩系指花岗岩闪长岩、英安岩、石英二长岩平均值;碱性岩系指正长岩、石英正长岩、粗面岩平均值。岩带岩石化学分析数据引自西南冶金地质勘探公司及云南地质局有关队。

则距之较远。相反,后者更接近于碱标(5.71)。第一、二岩群的钙量分别为2.31和1.33,其钙碱标、有效值和碱标,分别为3.66、2.51和1.26。显然,前者相对靠拢钙碱标和有效值,而后者则靠近碱标。就Mg量和 Fe_2O_3/FeO 而言,两岩群与“标准”的关系,均与前述相似,故不赘述。但Al的规律“反常”,相对靠近钙碱标的不是第一岩群,而是第二岩群,其原因尚不清楚。

关于岩石化学和岩石成矿(铜、铅)的专属性问题,初步认为铜、铅的沉淀富集与晚期岩浆及其在气液中运移的地球化学所有关。因素之一是,K量随岩浆富碱而继续增长,以及温度压力的降低,不利于深部流体岩浆分馏出铜质进入晚期岩浆并随气、液继续搬运;而Ca, Mg量的降低,不利于铜的沉淀富集。这就导致早期相对低K富Ca, Mg的第一岩群沉淀富集铜矿,晚期相

对富K贫Ca, Mg的第二岩群富铅。

综上所述,尽管岩带属于偏碱性岩系,但成矿的岩石化学特征,仍与我国钙碱性岩系斑岩相似,即当岩化值过渡接近钙碱系列时,则有可能成矿,诸如铜厂、长安冲、六万正长岩类等中碱性岩群。

需要说明的是,由于统计样数少,对各岩化值的分析又是孤立地进行的,所以上述认识的科学性尚有待验证。表6给出的结果也只是定性的,定量范围只是初步的。

文中引用的许多数据,是广大地质同行提供的,在撰稿过程中得到于民忠、刘存林、李雷工程师和张泰身同志的帮助、指导,在此一并致谢!

溧水地区火山—侵入旋回演化规律与金属矿化

江苏冶勘813队 游杰斌

区域地质概况

本区位于下扬子拗陷东端,溧水—宁芜中断凹东缘,茅山断凸西侧。区域中部广泛分布着受区域性深断裂控制的燕山旋回的火山—侵入杂岩,构成北北东及近东西向的构造岩浆杂岩带。

区内经历了印支期、燕山期、喜山期的多旋回构造运动(印支前为升降运动),构造活动具有明显的继承性。

在印支旋回及燕山旋回早期,它和宁芜处于同一中断凹(溧水—宁芜中断凹),燕山—幕,以方山—小丹阳断裂为界,明显分为两个毗邻的火山岩盆地(图1)。

火山—侵入旋回演化规律及特征

1. 火山—侵入旋回的划分

自早至晚,区内火山岩的序次是:角闪安山

岩(J_3L^1)→玄武岩(J_3L^2)→粗安岩(J_3d^1)→钾质石英粗面岩(J_3d^2)→流纹岩(K_1j)。侵入岩的先后序次是:角闪闪长岩→闪长辉长玢岩→石英闪长岩、粗安斑岩→钾质石英粗安斑岩、正长斑岩→石英斑岩(脉岩)。二者岩性组合、序次及演化规律基本一致,只存在相的差异。

初步认为,火山岩及侵入体在时间、空间及成因上是先喷发后侵入,但各期侵入体并非整个火山活动全部静止后再循序侵位,而是在每个大的喷发旋回(或亚旋回)的晚期,就有相同成分岩体入侵,因而组成了相同岩石系列的火山—侵入旋回,每个旋回形成了同质异相的火山—侵入岩组合。根据各期岩体的穿插关系、侵位上限及岩性组合建立的火山侵入旋回见表1。

2. 火山—侵入旋回的演化规律及特征

区内岩浆岩主要受制于燕山旋回,并且是同一岩浆原地的各部份分异熔浆,受制于同一构造