



碱度在火山岩岩石学及 地质学上的意义

武汉地质学院 邱家骧

碱度在火山岩岩石学及地质学上应用较广，意义较大。现列举以下十个方面加以说明。

碱度与火山岩系列及组合的关系

1. 火山岩的碱度与系列是两个不同的概念，但系列多以碱度来划分，故又有联系。划分火山岩碱度的方法很多，简便而又定量的方法是钙碱指数 (CA) 及组合指数 (σ)。火山岩的碱度通常分为两级：钙碱性岩 (广义) 的 $CA > 56$, $\sigma > 3.3$; 碱性岩 (广义) 的 $CA \leq 56$, $\sigma \leq 3.3$ 。钙碱性岩 (广义) 又细分为钙性岩 ($CA > 61$, $\sigma > 1.8$)、钙碱性岩 ($CA = 56 \sim 61$, $\sigma = 1.8 \sim 3.3$)；碱性岩可细分为碱钙性岩 ($CA = 51 \sim 56$)、碱性岩 ($CA < 51$, $\sigma > 9$)。碱钙性岩又称碱性岩；碱性岩又称强 (过) 碱性岩。钙碱性岩 (广义) 有人称为太平洋型，碱性岩 (广义) 有人称为大西洋型。

火山岩系列的划分标准不一，较好的划分方法也是分为两级，即亚碱性系列和碱性系列，两者通常以 $SiO_2 - (K_2O + Na_2O)$ 图及 $Ol' - Ne' - Q'$ 图相区别，而以后者精度高。亚碱性系列又可细分为拉斑玄武岩系列及钙碱性系列。对中性岩以 $F - A - M$ 图；对基性岩以 “An” - Al_2O_3 图判别较好。在日本，拉斑玄武岩系列又称易变辉石系列；钙碱性系列与高铝玄武岩系列对应，又称紫苏辉石系列。

根据火山岩的钾、钠含量，又可分为钾质类型和钠质类型。前者又称地中海型，后者称大西洋型。二者常用 $Na_2O - K_2O$ 图及 $Ab' - An - Or$

图区别，而以后者可靠。

火山岩的碱度与火山岩系列常有表 1 所列的对应关系。

表 1

碱度	钙碱性 (太平洋型)		碱性 (大西洋型)	
	钙性	钙碱性	碱钙性 (碱性)	碱性 (强碱性)
系列	亚碱性		碱性	
	拉斑玄武岩系列	钙碱性系列	碱性玄武岩系列	

2. 火山岩的碱度不同，其组合也不同，常见者如下。

(1) 钙性：玄武岩、安山岩、英安岩等，一般低铝 ($Al_2O_3 < 16\%$)。

(2) 钙碱性：玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩等，一般高铝 ($Al_2O_3 > 16\%$)。

(3) 碱钙性：碱性苦橄玄武岩、碱性玄武岩、粗安岩、粗面岩等。

(4) 碱性：黄长岩、副长石碱玄岩、副长石岩、响岩等。

3. 碱度较大的岩石，钾质、钠质类型不同，其岩石组合也不同。

(1) 碱钙性：

① 钾质：钾质苦橄玄武岩、粗面玄武岩、钾质粗安岩、钾质粗面岩等。

② 钠质：钠质苦橄玄武岩、中长玄武岩、钠

质粗安岩、钠质粗面岩等。

(2) 碱性:

①钾质: 霞石岩、霞石碱玄岩、霞石响岩等。

②钠质: 白榴岩、白榴碱玄岩、白榴响岩等。

4.不同碱度、系列、类型之岩石组合,以欧文等(1971)图解(图1)较为系统。图中以联

线标明它们之间的关系。但其中强碱性岩是指标准矿物计算出现Ac(锥辉石)的岩石,如碱流岩等。这与大多数人的理解不同,因为一般是把标准矿物计算出的副长石(>5%)的岩石才称为强碱性岩。

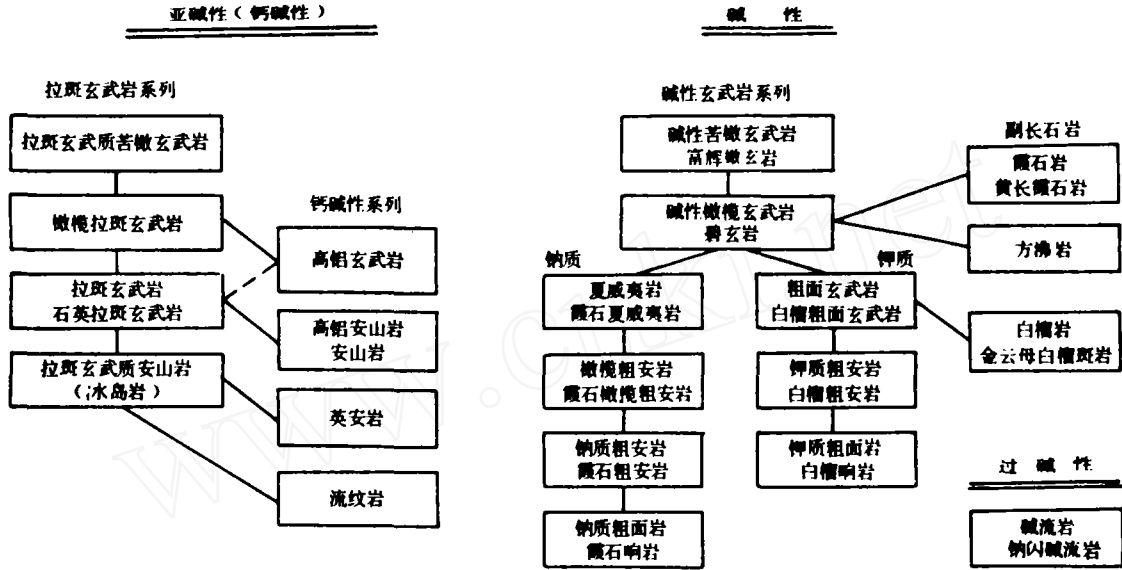


图1 火山岩系列岩石组合图
(据欧文等, 1971)

有人还提出钾玄岩(橄辉粗安岩)系列,其岩石组合为钾玄岩、粗安岩、流纹粗安岩等,岩石中 $K_2O \gg Na_2O$, 钾长石与斜长石共生。

碱度与矿物组合及成分的关系

1.岩石的碱度不同,矿物组合也不同,现以几个代表性矿物对比于表2。

矿物		碱 度			
		碱性	碱钙性	钙碱性	钙性
辉石	斜方辉石	-	-	+	+
	钠质辉石	+	+	-	-
闪石	普通闪石	-	-	+	+
	钠质闪石	+	+	-	-
碱性长石	副长石	+	+	+	-
	长石	+	-	-	-
	石英	+	+	+	+

注: + 出现; - 不出现。

2.不同碱度的岩石中,矿物组合有以下特点:

(1)碱性:出现副长石、碱性长石、碱性暗色矿物(以富钠、钛、铁、钙为特征),只见单斜辉石,不见石英。

(2)碱钙性:出现碱性长石、碱性暗色矿物,只见单斜辉石,较酸性岩中才出现石英。不见或极少副长石。

(3)钙碱性:碱性长石只见于较酸性岩中,不见碱性暗色矿物,斜长石少见,辉石常见单斜、斜方两种,见普通闪石。

(4)钙性:碱性长石在酸性岩中也不出现,斜长石发育,常见单斜辉石,斜方辉石较少。

3.不同碱度系列的玄武岩,矿物组合不同。现以拉斑玄武岩、高铝玄武岩和碱性玄武岩为例说明如下(表3)。

拉斑玄武岩与碱性玄武岩中的同名矿物也有区别:如前者比后者的橄辉石、斜方辉石、单斜辉石 SiO_2 高1~3%, MgO 高3~6%, Fe 或

表 3

	拉斑玄武岩	高铝玄武岩	碱性玄武岩
斑晶	钙-倍长石、普通辉石、斜方辉石、橄辉石	倍长石、普通辉石、斜方辉石、橄辉石(具格尖晶石包体)	拉-中长石、普通辉石、钛普通辉石、橄辉石(具格尖晶石包体)
基质	倍-拉长石、普通辉石、易变辉石、橄辉石(常具易变辉石反应边)、硅质玻璃或石英	拉长石、普通辉石、易变辉石、橄辉石(有时具易变辉石反应边)、硅质玻璃或石英、碱性长石	中长石、普通辉石、钛普通辉石、橄辉石(无易变辉石反应边)、碱性长石

(据久野, 1960)

Fs 高 4 ~ 9 %, FeO 低 2 ~ 6 %, 而且单斜辉石 CaO 低 3 %; 又如前者斜长石中 Or 低, 5 %, 后者 > 5 %。

4. 碱度较大的岩石, 钠质与钾质类型不同, 矿物也不同。

(1) 钠质: 基性斜长石少见, 只见于低 SiO₂ 的岩石中, 常见富钠的斜长石、歪长石、霞石、方钠石、黝方石、钛辉石、普通辉石、钠质辉石、钠质闪石等。

(2) 钾质: 常见基性斜长石、透长石、钠透长石、白榴石、钾霞石、兰方石、黄长石、透一普通辉石、斜红闪石、金云母、黑云母等。

5. 岩石中 Al₂O₃ / (K₂O + Na₂O) 分子比愈大, 反映斜长石号码 (An%) 一般愈高, 岩石之碱度也愈低。从图 2 可以看出, 钙碱性岩中的 Al₂O₃ / (K₂O + Na₂O) 分子比和斜长石号码的关系为正相关。据此, 可以确定侵入岩中斜长石及火山玻璃中可能的斜长石号码, 并可鉴定岩石的大致酸度及名称。

碱度与岩石分类定名的关系

1. 阳离子标准矿物法 由欧文等 (1971) 提出的分类命名方案 以标准矿物物率 (CI) 作纵坐标, 以标准斜长石号 ("An") 作横坐标, 投影在有关图解上进行命名。命名前, 首先应划分火山岩的碱度系列: 对于碱性系列, 还需进一步划分其属于钾质或钠质类型。CI = Ol + Opx + Cpx + Mt + Il + Hm, "An" = 100An / (An + Ab + 5/3

* 阳离子标准矿物含量与 CIPW 标准矿物重量百分数相似, 也可通用

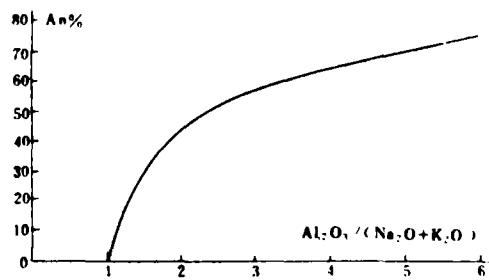


图 2 钙碱性岩中 Al₂O₃ / (K₂O + Na₂O) 分子比与斜长石号码关系 (据吉良罗娃, 1975)

Ne), 式中皆为阳离子标准矿物计算值。

(1) 亚碱性系列 用图 3 定名。

(2) 碱性系列 钠质类型用图 4, 钾质类型用图 5 定名。

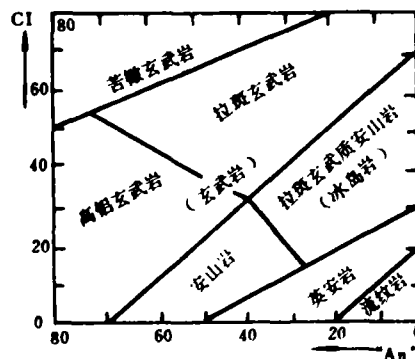


图 3 亚碱性系列火山岩命名图 (据欧文等, 略有补充)

注: 1 苦橄玄武岩, Ol > 25%; 2 拉斑玄武岩及拉斑玄武质安山岩, Al₂O₃ < 16%; 3 高铝玄武岩及安山岩, Al₂O₃ > 16%; 4 拉斑玄武质安山岩, 又称冰岛岩 (为高铁安山岩及英安岩成分), Q = 15 ~ 20%; Fe / (Fe + Mg) = 0.72 ~ 0.82

2. CIPW 标准矿物法* 以应用较广的火山岩定量法及玄武岩定性法为例, 分述如下:

(1) 火山岩定量法: 斯特雷凯森用 Q-F-A-P 双三角图对侵入岩的分类命名, 已得到 24 届国际地质学会通过, 而火山岩尚无统一意见 为了与侵入岩名称呼应, 多数人认为仍应采用斯氏 Q-F-A-P 双三角图 (图 6) 由于火山岩结晶程度差, 矿物含量难测, 故需把化学分析结果计算成标准矿物才能投图。又由于碱性长石、斜长石

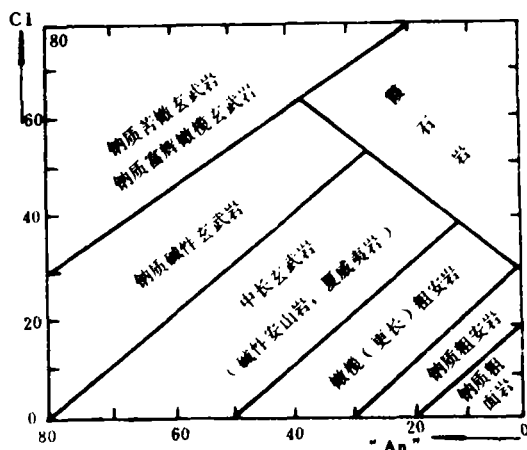


图4 碱性系列火山岩钠质类型命名图

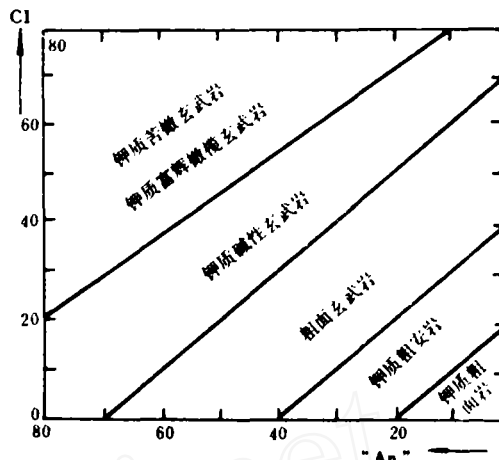


图5 碱性系列火山岩钾质类型命名图

(据欧文, 略有修改)

注: 1 富辉橄玄武岩, $Cpx > 20$; 2 含 Ne 的苦橄玄武岩称苦橄霞石岩; 3 含 Ne 或 Le $< 5\%$ 的碱性玄武岩称碱玄武岩, 含 $Ol > 5\%$ 的碱玄武岩称碧玄武岩; 4 含 Ne 或 Le 的粗面岩称响岩

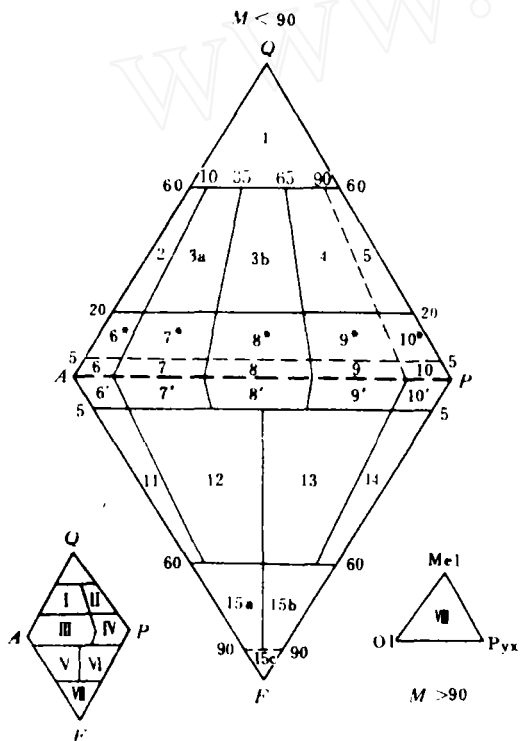


图6 火山岩分类命名的 $Q-F-A-P$ 图 (据斯特雷凯森, 1979; 略有修改)

Q 石英; I 副长石; A 碱性长石; P 斜长石; M 暗色矿物; Mel 黄长石; Ol 橄辉石; Pyx 辉石; 1 - 富硅流纹岩; 2 - 碱长流纹岩; 3a, 3b 流纹岩; 4, 5 - 英安岩; 6* 碱长石英粗面岩; 7* 石英粗面岩; 8* - 石英二长安山岩; 9* 石英粗安岩; 10* 石英安山岩, 部分拉斑玄武岩; 6 碱长粗面岩; 7 粗面岩; 8 - 二长安山岩; 9 - 粗安岩; 10 安山岩, 部分拉斑玄武岩; 6' 副长碱长

粗面岩; 7' 副长粗面岩; 8 副长二长安山岩; 9 副长粗安岩; 10' 副长安山岩; 11 - 响岩; 12 碱玄质响岩; 13 - 响岩质碱玄武岩; 14 碱玄武岩; 15a 响岩质副长石岩; 15b - 碱玄质副长石岩; 15c 副长石岩; I 流纹岩类; II 英安岩类; III 粗面岩类; IV 安山岩, 玄武岩类; V 响岩类; VI - 碱玄武岩类; VII 副长石岩类; VIII 超镁铁岩类

图中 I ~ VIII 为大类名称, 也可作为野外粗略定名之用; 1 ~ 15 为暗色矿物 $< 90\%$ 的岩石名称, 对超镁铁岩不能用, 对玄武岩也划分不细。

中皆包括 Ab 组分, 不好分配, 故必须研究确定 A 、 P 的方法。Le Maitre (1977) 根据 25894 个火山岩化学成分的标准矿物统计, 提出 A 与 P 可按以下方法计算:

$$A = Or + T$$

$$P = An + T$$

式中 $T = (Or + Ab + An) / (Or + An)$

鉴于上述计算的复杂性及不准确性, 斯特雷凯森与 Le Maitre (1979) 又提出用 Q' 、 F' 、 $ANOR$ 值在长方形图 (图 7) 上投影, 以取代 Q 、 F 、 A 、 P 值在双三角图上的投影 (图 6), 二图中数字所代表的岩石名称是一致的。图 7 中界线是在大量岩石化学分析 (15487) 计算成标准矿物基础上, 并以实际矿物成分为依据绘出的, 对常见岩石比较适用

图中 Q' 、 F' 、 $ANOR$ 值以标准矿物按下式计算:

$$Q' = Q / (Q + Or + Ab + An)$$

$$F' = (Ne + Lc + Kp) / (Ne + Lc + Kp + Or + Ab + An)$$

$$ANOR = An100 / (Or + An)$$

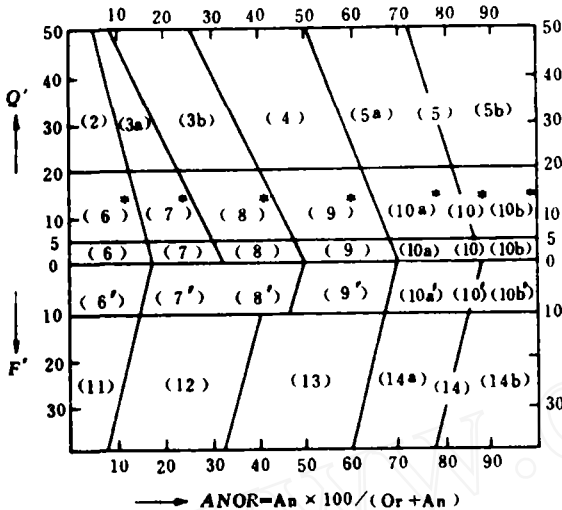


图7 火山岩分类命名的 $Q' - F' - ANOR$ 图
(据 Streckeisen, Le Maitre, 1979)

(2) 玄武岩定性法: 据标准矿物Hy与Ne出现与否, 即可简便地分为两个碱度不同的系列及一个过渡类型, 再据Ol、Q等又可进一步划分种属。以定性分类为主, 适当考虑定量。

①拉斑玄武岩系列, 以出现Hy($> 3\%$)为特征, 可分为: 拉斑玄武岩, 仅见Hy; 石英拉斑玄武岩, 可见Hy + Q; 橄辉拉斑玄武岩, Hy + Ol。

②过渡系列, 以出现Ol, 不见Ne, 含Hy $< 3\%$ 为特征。可细分为: 橄辉玄武岩, Ol $< 25\%$; 苦橄玄武岩, Ol = 25~40%; 苦橄岩Ol $> 40\%$ 。

③碱性玄武岩系列, 以出现Ne为特征。可分为: 碱性玄武岩, Ne($< 5\%$) + Ol($< 5\%$); 碱玄岩, Ne($> 5\%$) + Ol($< 5\%$); 碧玄岩, Ne($> 5\%$) + Ol($> 5\%$); (橄辉) 霞石岩, Ol, Di, Ne, 不见Ab。

3. 硅-碱法 以 SiO_2 及 $(K_2O + Na_2O)$ 为直坐标, 可以更简便地对火山岩分类命名。它只要三个氧化物重量百分数, 不需复杂的计算及投影。

(1) 火山岩系列、碱度、组合、名称图(图8): 在已知岩石中 SiO_2 及 $(K_2O + Na_2O)$ 含量基础上, 投影在图8上, 即可大致确定该火山岩的系

列、碱度、组合、名称。图中 $SiO_2 > 45\%$ 的部分, 还标出了组合指数(σ)为3.3及9的两条弧线, 可把火山岩划分为钙碱性、碱钙性、碱性三个碱度系列不同的组合, 在已知火山岩碱度、系列的情况下, 只需岩石中 SiO_2 含量即可定出火山岩的大致名称。

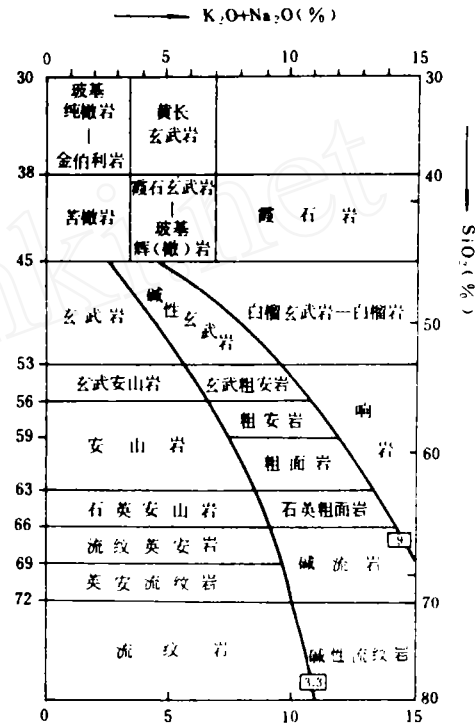


图8 火山岩系列、组合、名称图
(邱家骥, 1979)

$\sigma < 3.3$ - 钙碱性岩, 拉斑玄武岩系列: 玄武岩 - 安山岩 - 流纹英安岩组合; $\sigma > 3.3$ - 碱性岩, 碱性玄武岩系列: $\sigma = 3.3 \sim 9$ - 碱钙性岩, 碱性玄武岩 - 粗安岩 - 粗面岩组合; $\sigma > 9$ - 碱性岩, 副长石岩 响岩组合

(2) 玄武岩碱度、名称图(图9): 据岩石中 SiO_2 及 $(K_2O + Na_2O)$ 含量, 还可把玄武岩分为拉斑玄武岩与碱性玄武岩两大系列, 前者又分为低碱与高碱两种, 后者又分为一般碱性及强碱性两种。一般碱性玄武岩中 SiO_2 较高者, 为粗面玄武岩。图9中的点划线为标准矿物Ol与Q分界线, 左侧常见标准矿物Ol, 右侧常见Q。

4. 硅-钾法 火山岩中 SiO_2 及 K_2O 含量(重量%), 也可以粗略地确定其系列、类型、名称(图10)。 K_2O 高者为钾玄岩-粗安岩-粗面岩

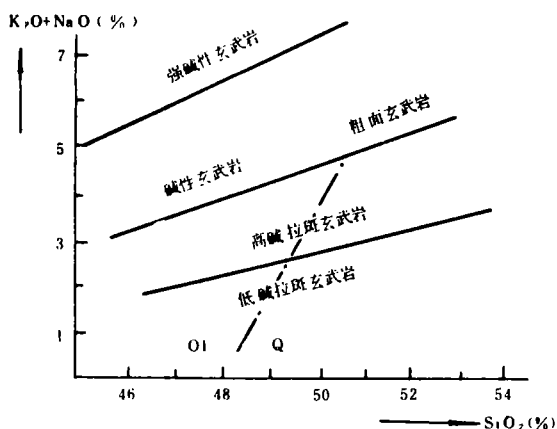


图9 玄武岩碱度、名称图
(牛来正夫, 1975)

系列, K_2O 低者为玄武岩—安山岩—流纹岩系列, 后者又可划分为高钾、一般、低钾三个类型。再据 SiO_2 含量, 不准确定其岩石的可能名称。

碱度与构造环境的关系

不同构造环境产出的火山岩, 其碱度是不同的。因此, 根据火山岩中的碱度, 可以帮助我们分析其形成时的构造环境, 举数例如下:

1. $\log \sigma - \log \tau$ 关系图 以 $\log \sigma$ 为纵坐标, 以 $\log \tau$ 为横坐标, 可将火山岩分为两种构造区 (图 11), A 区为稳定构造区, B 区为造山区—活动构造区。投影在 C 区者, 为 A、B 二区演化的碱性岩—碱性玄武岩、粗安岩、粗面岩、响岩等。

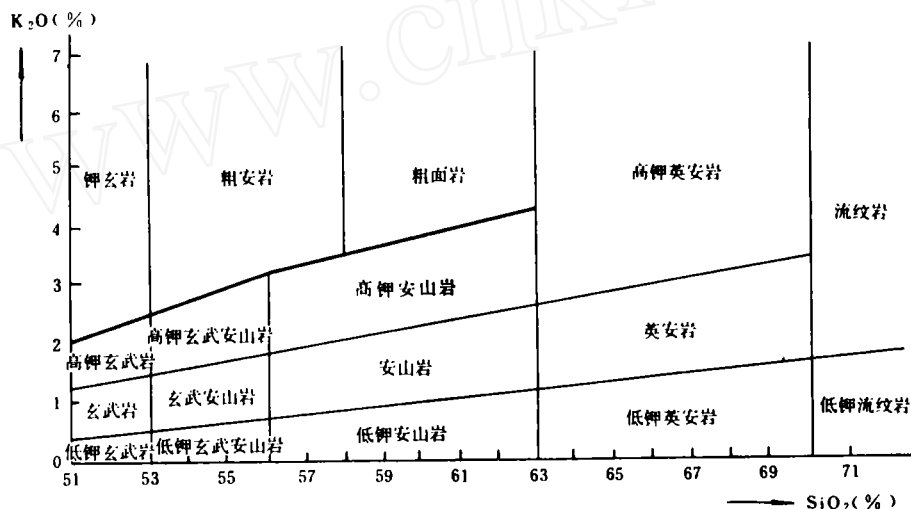


图10 火山岩硅—钾与系列、类型、名称图
(成都地院等, 1980)

σ 为组合指数, $\sigma = (K_2O + Na_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$; τ 为戈蒂里指数, $\tau = (Al_2O_3 - Na_2O) / TiO_2$ 。大洋岛屿、稳定大陆为稳定构造区; 而岛弧、活动大陆边缘为活动构造区。 τ 值 10~30 者一般为活动构造区产物, 随 σ 值加大而略小。

鉴于超基性火山岩 SiO_2 常小于 43%, 故 σ 为负值, 对数值不好投影。于是笔者提出用 $SiO_2 - 25$ 代替 $SiO_2 - 43$, 则修改后的新组合指数 $\sigma_{25} = (K_2O + Na_2O)^2 / (SiO_2 - 25)$; 为方便投影又用 $\log (\sigma_{25} \times 100)$ 代替 $\log \sigma$ 作横坐标。火山岩 $\log \tau - \log (\sigma_{25} \times 100)$ 与构造关系图 (图 12) 适用于超基性岩在内的所有火山岩, 图中 A、B、C 同图 11。

2. 查氏图 以火山岩化学成分计算成查氏主要数值特征, 在碱性面上投影。

(1) 与火山岩自然组合线 (图 13) 对比。高尔什柯夫 (1963) 把火山岩自然组合线归纳为碱度不同的三种构造类型:

① 1~3 号线: 活动区钙碱性岩, 环太平洋岛弧及活动大陆边缘火山岩属之。

② 4~6 号线: 大陆区碱性岩, 大陆内部稳定区火山岩属之, 一般愈向大陆内部碱度愈大。

③ 7~10 号线: 大洋区碱性岩, 大洋内部稳定区, 如大洋岛屿属之。它向酸性演化过程中, 碱度增加最快。

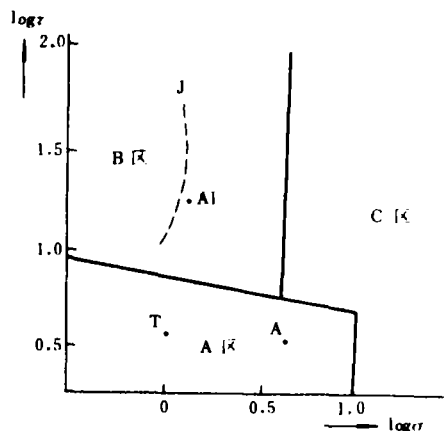


图11 火山岩 $\log r - \log \sigma$ 与构造环境关系图
(据里特曼, 1973)

断线 J 为日本岛弧火山岩; Al 点为高铝玄武岩平均值; T 及 A 点为夏威夷玄武岩平均值; T - 拉斑玄武岩; A - 碱性玄武岩

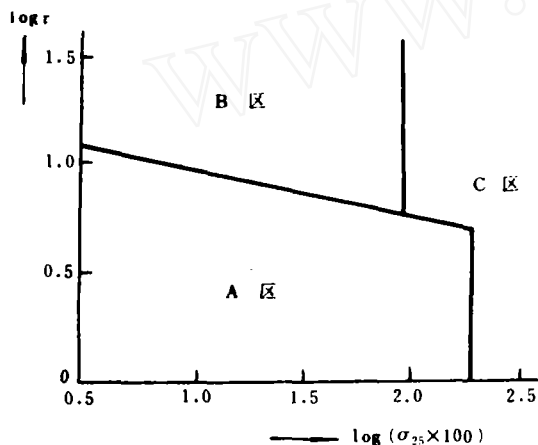


图12 火山岩 $\log r - \log (\sigma_{25} \times 100)$ 与构造环境关系图
(据 Löffler, 1979)

(2) 与不同大地构造单元岩浆岩分布范围图(图14)进行对比。格佐夫斯基(1963)从地槽、地台构造观点出发,圈出了不同构造单元上查氏投影点的范围。图中以 b 值 5、25、40 为界,划分酸度不同的岩石,以 $a = 20$ 与 $b = 60$ 之联线划分碱度,其左上方为钙碱性岩,右下方为碱性岩。

3. 碱度率大小及范围 碱度率 (AR) = $[Al_2O_3 + CaO + (Na_2O + K_2O)] / [Al_2O_3 + CaO - (Na_2O + K_2O)]$, 当岩石中 $SiO_2 > 50\%$, $K_2O/Na_2O > 1\%$ 及 $< 2.5\%$ 时,上式中 (Na_2O

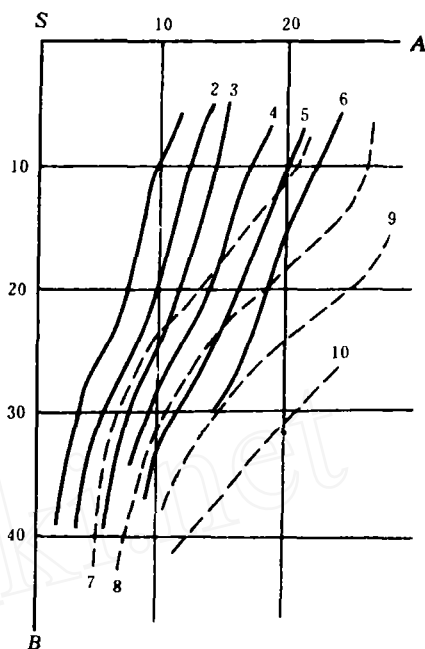


图13 火山岩自然组合图
(高尔什柯夫, 1963)
1 ~ 10 为自然组合线

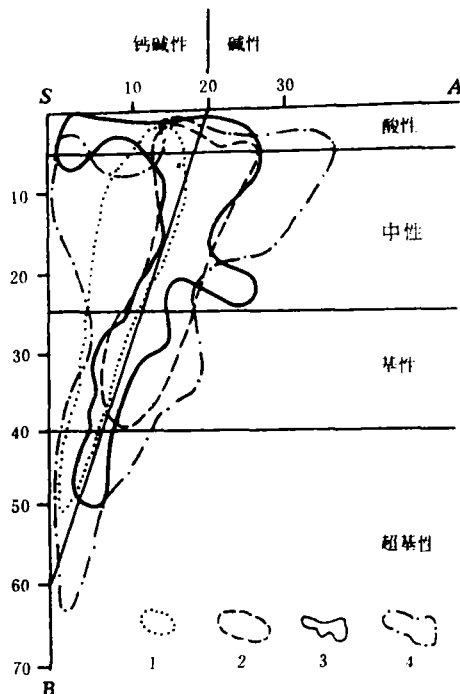


图14 不同构造单元分布范围图
(格佐夫斯基, 1963)

1 - 地槽区; 2 - 准地槽区;
3 - 再活动区; 4 - 地台区

+ K₂O) 以2Na₂O代替。式中氧化物均为重量百分数。碱度率之大小及范围与岩浆岩形成时的构造单元及其中酸性岩成因有关。

(1) $AR = 2.9 \sim 3.9$, 多见于构造活动区, 如岛弧、活动大陆边缘。其中酸性岩可能为变质基底上部深熔产物。

(2) $AR = 6.4 \sim 7.7$, 多见于断裂带区。其中酸性岩可能为基性岩浆分异成, 或变质基底深熔成。

(3) $AR = 4.3 \sim 9.1$, 多见于稳定构造区。

其中酸性岩可能为基性岩浆混染大陆壳或为上地幔局部熔融产物。

4. 火山岩系列 从板块构造观点来看, 不同构造环境上, 碱度不同的火山岩系列的分布是不同的。

(1) Miyashiro (1973) 认为, 造山带以钙碱性系列为特征, 而稳定区及洋中脊以拉斑玄武岩系列及碱性玄武岩系列为特征 (表4)。岛弧从不成熟到成熟, 从大洋壳 (玄武质) 逐步转化为大陆壳 (花岗质)。

表 4

火山岩系列	造 山 带			稳定大陆	大洋岛屿	洋 中 脊
	未成熟岛弧	成熟岛弧	活动大陆边缘			
T (拉斑玄武岩系列)	常见	常见	少见	常见	少见	少见
CA (钙碱性火山岩系列)	少见	常见	常见	不见	不见	不见
A (碱性玄武岩系列)	不见	少见	少见	常见	常见	少见

表 5

板块构造环境	板 块 边 缘		板 块 内 部			
	闭 合 (毕乌夫带)	扩 张 (洋中脊)	海 洋		大 陆	
			边 缘 海 盆	大 洋 岛 屿	裂 谷	克 拉 通
火山岩系列	CA	T (低钾)	T (低钾)	A + T	T + A	A

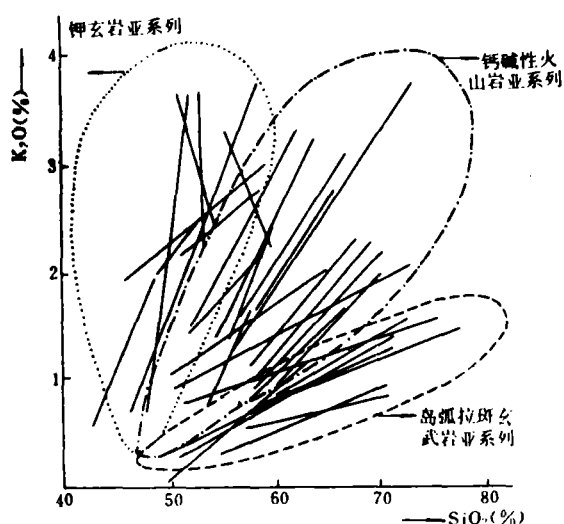


图15 钙碱性火山岩系列中三个亚系列
SiO₂-K₂O关系图
(据Condle, 1973)

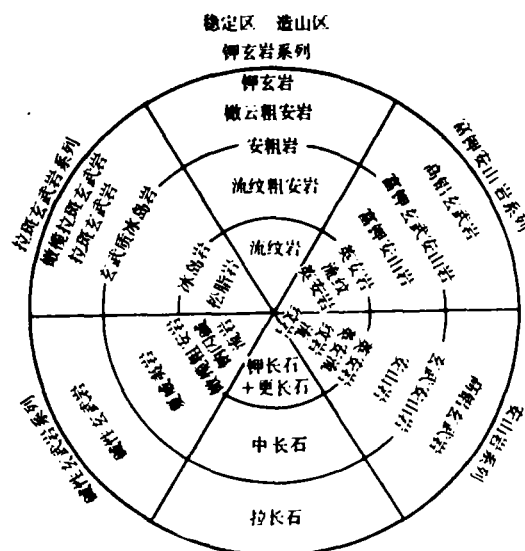


图16 火山岩系列与构造环境的关系
(据Joplin)

(2) Condie (1973) 指出, 板块构造可归纳为两类: 一为边缘构造, 包括毕乌夫带(消减带)及洋中脊; 另一为内部构造, 包括海洋区的边缘海盆、大洋岛屿以及大陆区的裂谷、克拉通。总计有六种构造环境, 它们的火山岩系列如表 5 所示。

张应力较强区, 如洋中脊、边缘海盆、大陆裂谷, 以具有拉斑玄武岩系列为特征, 洋中脊、边缘海盆的拉斑玄武岩以低钾为特点, 而裂谷除拉斑玄武岩系列外, 常兼有碱性玄武岩为特点。压应力较强区, 如毕乌夫带, 为钙碱性系列岩石, 又可细分为三个亚系列: 岛弧拉斑玄武岩亚系列, 钙碱性亚系列, 钾玄岩亚系列。当 SiO_2 一定时, K_2O 递增 (图15)。钙碱性亚系列以安山岩为主, 又有低钾与高钾之分。而在张或压应力都弱的地区, 如大洋岛屿及大陆克拉通区, 以碱性玄武岩系列与拉斑玄武岩系列伴生为特征, 其中拉斑玄武岩比洋中脊、边缘海盆中者碱度较高。

(3) Joplin 把火山岩系列与构造上稳定度联系起来, 如图16所示。稳定区一般为碱性玄武岩系列及拉斑玄武岩系列; 造山区(活动区)一般为钙碱性系列, 以安山岩为主, 又称安山岩系列, 有高(富)钾及低钾之分; 位于稳定区与造山区过渡地带的为钾玄岩系列, 多位于岛弧近大陆一侧分布。造山区安山岩系列相当于Condie的钙碱性亚系列, 钾玄岩系列也即前述的钾玄岩亚系列。

碱度与玄武岩、安山岩 形成时构造及地理位置的关系

1. 玄武岩

(1) 与板块构造的关系 根据玄武岩所处的板块构造环境, 可分为五个类型玄武岩:

①板块内部玄武岩(WPB), 包括大洋岛屿及稳定大陆上的玄武岩。

②大洋底部玄武岩(OFB), 是洋中脊边缘分布的拉斑玄武岩。

③岛弧拉斑玄武岩(LKT)是岛弧近海沟一侧分布的玄武岩。

④钙碱性玄武岩(CAB), 是岛弧中部分布的玄武岩。

⑤钾玄岩(SHO), 是岛弧近大陆一侧分布的玄武岩。

OFB、LKT、CAB、SHO为板块边缘玄武岩, 其中OFB属扩张部分; LKT、CAB、SHO属闭合部分, 分别为岛弧钙碱性系列的三个亚系列之基性端元。板块内部玄武岩(WPB)未分大洋与大陆。

用玄武岩中 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 八个氧化物代入下列三式, 求出 F_1 、 F_2 、 F_3 , 再投影于图17、18上, 即可确定玄武岩的上述类型, 从而不难分析其板块构造的位置。

$$F_1 = +0.0088(\text{SiO}_2) - 0.0774(\text{TiO}_2) + 0.0102(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0.0066(\text{FeO}) - 0.0017(\text{MgO}) \\ - 0.0143(\text{CaO}) - 0.0155(\text{Na}_2\text{O}) - 0.0007(\text{K}_2\text{O})$$

$$F_2 = -0.0130(\text{SiO}_2) - 0.0185(\text{TiO}_2) - 0.0129(\text{Al}_2\text{O}_3) - 0.0134(\text{FeO}) - 0.0300(\text{MgO}) \\ - 0.0204(\text{CaO}) - 0.0481(\text{Na}_2\text{O}) + 0.0715(\text{K}_2\text{O})$$

$$F_3 = -0.0221(\text{SiO}_2) - 0.0532(\text{TiO}_2) - 0.0361(\text{Al}_2\text{O}_3) - 0.0016(\text{FeO}) - 0.0310(\text{MgO}) \\ - 0.0237(\text{CaO}) - 0.0614(\text{Na}_2\text{O}) - 0.0289(\text{K}_2\text{O})$$

不同位置玄武岩的碱度是不同的: 板块内部比边缘碱度高; 板块扩张部分比闭合部分钾低; 闭合板块从大洋向大陆一侧, 碱度及钾量均增大。

玄武岩的板块构造环境, 还可利用 Ti、Zr、Y、Cr、Sr 等浓度 (ppm) 投影在图19上确定。板块内部比边缘的玄武岩, 一般 Ti、Zr 高而 Y 低; 板块扩张部分比闭合部分玄武岩, 一般 Ti、Cr 高而 Sr 低; 闭合部分从岛弧拉斑玄武岩到钙碱性玄

武岩, Zr 一般变大。

(2) 与地理位置的关系 同为玄武岩, 大洋区与大陆区分布的, 其成分不同, 尤以钾明显。

1 大洋系数 (KOI): 多勃列夫提出用大洋系数划分玄武岩, $\text{KOI} = \text{MgO} + 2\text{TiO}_2 - 3\text{K}_2\text{O}$ $\text{KOI} \approx 2.0 \sim 7.3$ 者为大陆玄武岩; $\text{KOI} = 8.0 \sim 9.5$ 者为裂谷玄武岩, $\text{KOI} = 10.0 \sim 13.0$ 者为大洋玄武岩。

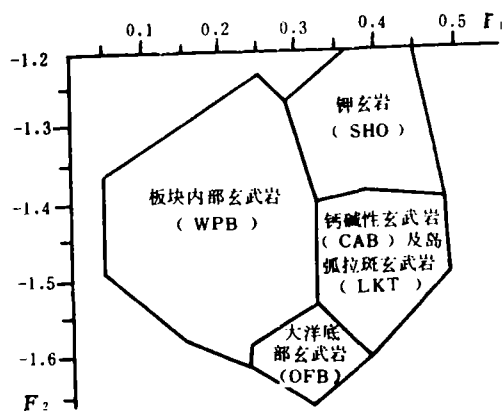


图17 $F_1 - F_2$ 与玄武岩
类型关系图
(据Pearce, 1976)

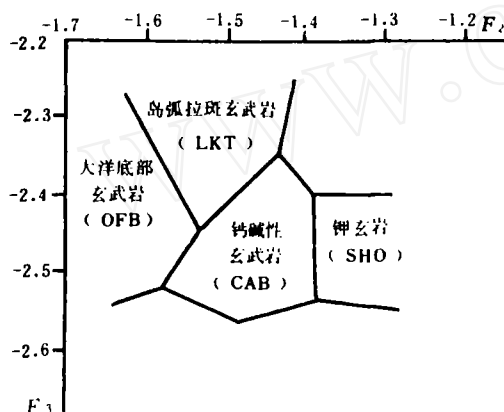


图18 $F_2 - F_3$ 与玄武岩
类型关系图
(据Pearce, 1976)

② K_2O ($K_2O + Na_2O$)与 SiO_2 关系图: Forber(1967)指出, 含地幔岩包体的玄武岩(多碱性钠质), 大陆区与大洋区之主要区别是, 大陆区 SiO_2 及 K_2O ($K_2O + Na_2O$)较高(图20)。

③ K_2O 含量: Hyndman(1972)统计了大陆区与大洋区拉斑玄武岩, 从其平均值对比可知, 大陆区以 SiO_2 、 $\langle FeO \rangle$ 、 K_2O 高, 而 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 低为特点, 尤以 K_2O 显著。大陆区 K_2O 平均为 1.0% (141个), 而大洋区平均仅为 0.24% (166个)。

④ Na_2O K_2O 原子比: Engle(1965)指出拉斑玄武岩在不同区的 Na_2O K_2O 原子比不同: 大陆拉斑玄武岩 Na_2O K_2O 原子比 $\approx 3 \sim 6$; 岛弧拉斑玄武岩为 $8 \sim 10$; 大洋拉斑玄武岩 10 。

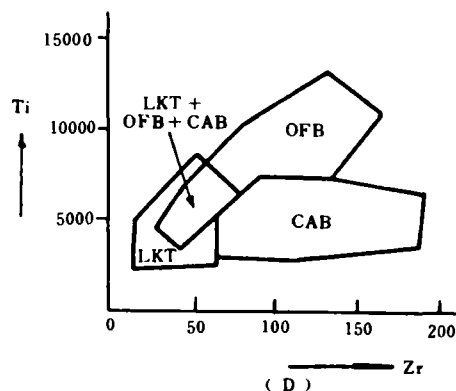
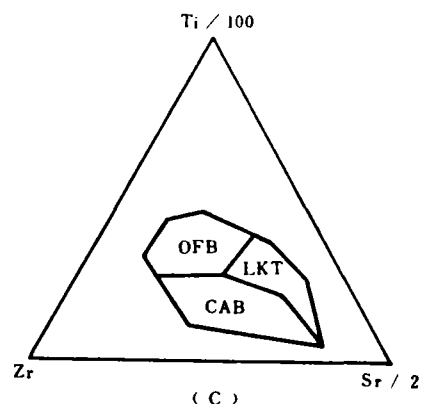
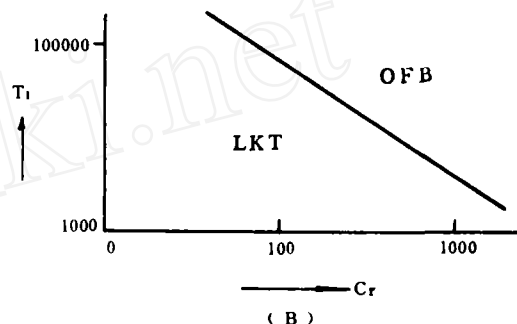
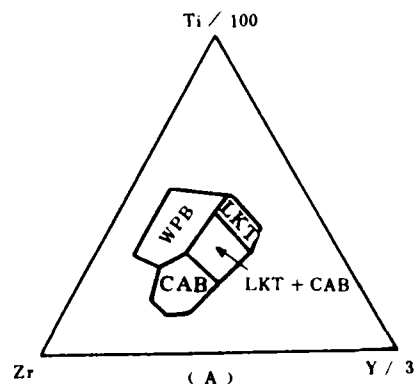


图19 玄武岩类型与Ti、Zr、Y、Sr、Cr关系图
(据Pearce, 1976)

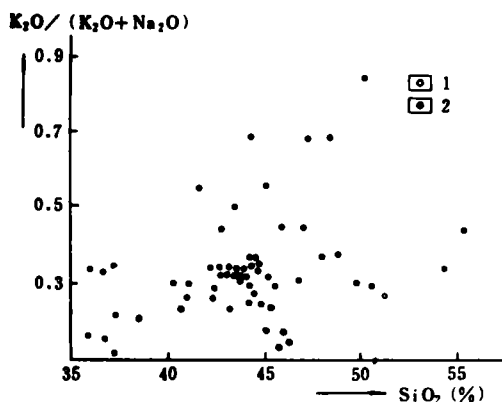


图20 含地幔岩包体的玄武岩中 $K_2O/(K_2O+Na_2O)$ 与 SiO_2 关系图 (Forker, 1967)

1 - 大陆区; 2 - 大洋区

2. 安山岩

(1) 空间上: 从岛弧到大陆内部, 碱度增大, 尤以 K_2O 变大为特征 (表6)。从而形成碱度不同的安山岩。

(2) 时间上: 同为安山岩浆, 构造环境不同, 其演化方向也不同:

① 安山岩 → 英安岩 → 流纹岩 向酸性方向演化, 多分布于隆起区, 构造作用渐强, 岩浆房不断上移。

② 安山岩 → 粗安岩 → 粗面岩 (响岩) 向碱性方向演化, 多分布于凹陷区, 构造作用渐弱, 岩浆房稳定下降。

表6

分析数	SiO_2 平均值	CaO 平均值	$K_2O + Na_2O$ 平均值	K_2O 平均值	碱度	位置
89	58.68	7.13	4.51	1.27	钙性	岛弧
29	58.65	6.24	5.81	1.99	钙碱性	大陆边缘
13	58.05	5.13	8.17	3.60	碱钙性	大陆内部

(未完待续)



一些热液金属矿床中闪锌矿组份的变化

闪锌矿是热液金属矿床中最常见的矿石矿物。闪锌矿中FeS含量被认为是一种很灵敏的标志, 可用作地压计。闪锌矿组份的资料在许多单个矿床成因讨论的著作中均有报道, 但是从区域观点阐明闪锌矿组份的著作却很少。

在日本, 1963年用光谱测定了日本绿色凝灰岩区的366块闪锌矿标本。由矿床类型及矿石建造来看, 显示出微量元素的区域性特征及地球化学特征。1980年对日本几十个夕卡岩型矿床中的闪锌矿作了研究, 发现FeS、MnS、CdS的含量分布有一定规律。在朝鲜, 1977年对选自不同地质背景16个铅锌矿床中的闪锌矿微量元素作了分析, 得出微量元素之间的特殊相关关系受地质背景和矿石建造的物理化学条件控制。

对朝鲜14个代表性矿区中的闪锌矿进行采样, 并用电子探针分析了铁、锰和铜, 发现其组份变化也有一定规律。这些矿区有脉型、夕卡岩型和角砾岩筒型, 包括铅锌矿、铁矿、铜矿和钨矿。

在磁黄铁矿稀少或缺失的矿床中, FeS含量一般小于20克分子百分数, 而磁黄铁矿很普遍的矿床 (伴生或

缺失黄铁矿), FeS含量变化较大。相对富集MnS的闪锌矿也富集FeS, 反之, 则不然。

不同类型热液矿床中CdS的平均含量为0.5克分子百分数。铅锌矿中的闪锌矿高MnS (1.39~2.07克分子百分数) 低CdS (小于0.5克分子百分数); 钨矿床中的闪锌矿低锰 (0.23~0.46克分子百分数) 高CdS (0.53~2.11克分子百分数); 而铁和铜矿床或铁铜矿床中的闪锌矿则以低MnS (小于0.7克分子百分数) 低CdS (小于0.5克分子百分数) 为特征。

值得注意的是, 相似类型矿床中闪锌矿组份的变化是相似的, 并与伴生金属矿物有关。如在成因上与似深成岩体有关的三个铅锌矿床, 其MnS含量较高, 这与这些矿床夕卡岩中锰矿物的丰度相一致。又如钨矿床中闪锌矿的CdS含量较高, 这明显与钨矿物的丰度相一致。

闪锌矿组份变化的系统研究, 对于探索微量元素区域地球化学特性、成矿物理化学条件和矿床成因都有定意义, 是个值得重视的工作。

(沃香宝摘译自: 矿山地质,

第31卷, 第1期, 1981)