

问题  
讨论

## 火成岩系列划分的回顾与当代含义\*

邓晋福

(中国地质大学)

**主题词:** 火成岩系列; 历史回顾; 当代含义

**提 要:** 本文对火成岩系列划分的历史演变进行了回顾, 指出其当代含义的历史由来, 以及与历史上某些概念的重大差别, 旨在为消除已出现的某些混乱作出努力。本世纪上半叶, 火成岩系列划分的概念中, 亚碱性与钙碱性是作为同义语使用, 而当代含义的钙碱性不等于亚碱性。国内有关文献中出现的某些概念上的混乱可能与对历史进程中这些概念的变化了解不够有关。

### 一、前言

火成岩系列的划分是火成岩岩石学研究中的一个重要方面。目前国内某些教科书与科学论文(包括研究生论文)中, 对火成岩系列的理解划分标准有重大差异, 甚至已造成一些不必要的混乱。这些问题可能大多来自对历史进程中岩石系列划分的概念上的变化了解不够。本文旨在对火成岩系列的某些概念与划分的历史演变进行回顾, 从而正确理解火成岩系列的当代含义, 及其与历史上某些概念的区别, 为消除已出现的某些混乱作出努力。

\* 自然科学基金资助项目。

## 二、火成岩系列划分的回顾

目前,广泛接受火成岩主要分为三个岩石系列,即碱性橄榄玄武岩系列、拉斑玄武岩系列与钙碱性火成岩系列。但是,并不是一开始就分出这三个岩石系列的,而是随着岩石学研究的深入,直至60年代末、70年代初期才明确地确立上述概念并被广泛接受。因此,在使用早期划分岩石系列的概念与图表时应特别小心,否则会造成混乱以至错误。Irvine等<sup>[1]</sup>指出,目前火成岩系列分类的基本格架是由Kennedy(1933)与Tilley(1950)奠定的。目前的三分法则是由Wilkinson(1968)与Irvine(1971)提出的。

1. Kennedy(1933)前:把火成岩系列划分为碱性(alkalic)与亚碱性(subalkalic)二个组,最早是由Iddings(1892)提出的,后来由Harker(1909)完善<sup>[2]</sup>。Harker首先识别出环绕太平洋与大西洋周边产出的新生代火山岩之间在矿物学与化学上的差异,前者以安第斯与美国西部的玄武岩—安山岩—流纹岩为特征,称太平洋岩套,属亚碱性系列,后者包括亚速尔群岛和大西洋其它岛屿的橄榄玄武岩、霞石岩、碧玄岩与响岩组合,称为大西洋岩套,属碱性系列。Holmes(1918, 1920)<sup>[1, 2]</sup>首先提出钙碱性(Calc-alkali)这一名词与碱性(岩)相区别,前者的主要造岩矿物为长石、角闪石或辉石,后者为似长石、钠质辉石与角闪石。与此同时发现冰岛的火山岩既不属于典型的钙碱性,又不属于典型的碱性系列(按现代概念,冰岛火山岩主要属于拉斑玄武岩系列)。Tyrrell(1926)<sup>[3]</sup>则对该两组火成岩系列采用碱性(alkalic)与钙性(calcic)名词,并指出由地理位置确定岩套的概括性的概念是不合适的,建议以岩族的概念取代之。Peacock(1931)<sup>[4]</sup>利用Harker图解研究了世界上典型的13个火成岩岩石系列,提出碱钙指数(alkali-lime index)的概念,并用它的定量数值,把火成岩系列的两分法扩展为四分法,即碱性(alkalic),碱钙性(alkali-calcic),钙碱性(calc-alkalic)与钙性(Calcic),解决了当时像冰岛火山岩那样究竟属于碱性还是亚碱性系列的困难。Peacock(1931)在自己文章<sup>[4]</sup>的一开头写道“很久以来已认识到火成岩岩石系列划分为两组,碱性(alkalic)与亚碱性(钙碱性,钙性)”,从这里可以看出,当时把钙碱性(指Holmes提出的广义的概念,而不是Peacock四分法中的含义)、钙性(Tyrrell提出的概念)与亚碱性是作为同义语使用的。需强调的是,由于当时还没有认识到拉斑玄武岩系列的存在,从现代的火成岩系列的概念来看,那时的“钙碱性”(即亚碱性)既包括了现代的钙碱性系列,又包括了现代的拉斑玄武岩系列。这在现在运用Peacock碱钙指数时是应当特别小心对待的。然而,这一点被忽视了,致使在火成岩系列的划分上出现了某些混乱与错误。更重要的是,截至60年代末以前在火成岩系列的两分法分类中,广泛使用钙碱性的名词,而不用亚碱性的名词,例如当时在国内影响极大的查瓦里茨基(1955)的火成岩<sup>[5]</sup>就是采用这个方案的,即把火成岩系列分为两大类,碱性(alkalic)与钙碱性岩,后者又常称为正常系列。

2. Kennedy(1933)的贡献<sup>[6]</sup>:碱性(alkalic)与钙碱性(calc-alkalic)两大岩石系列代表了不同的岩浆演化趋势,钙碱性趋势在分异晚期出现石英,而碱性趋势则无石英出现。Bowen与Daly均认为这两个岩石系列均来自一种原生的钙碱性玄武岩母岩浆。Daly把碱性岩石的生成归因于正常的钙碱性岩浆同化石灰岩或其它钙质沉积物后发生去硅作用(Desilication)的结果。Bowen则认为原生玄武岩岩浆的正常分离结晶作用的晚期产生石英,而碱性岩浆是在特殊的分离结晶作用

条件下形成的。与Daly、Bowen相反, Kennedy (1933) 论证了马尔 (Mull) 岛的两类型玄武岩的不同演化趋势, 并发现它们具有全球范围的普遍性之后, 提出了存在两种原生玄武岩岩浆, 橄榄玄武岩型与拉斑玄武岩型。橄榄玄武岩岩浆的特征是, 含有橄榄石与一种单斜辉石 (普通辉石是含Ti的变种), 并有碱性长石、霞石或沸石的填隙残余物, 它是碱性演化系列的母岩浆, 演化最终的产物是粗面岩与响岩。拉斑玄武岩岩浆型特征是, 有两种辉石 (易变辉石或顽火辉石, 普通辉石), 橄榄石无或稀少, 玻璃质残余物常为硅质, 它是钙碱性演化系列的母岩浆, 最终产物为流纹岩或花斑岩 (granophyre)。Kennedy (1933) 的贡献在于, 提出了两个火成岩系列来自两个独立的原生母岩浆, 在理论上阐明了两个岩石系列在岩浆起源与演化趋势上是各自独立的, 因而为划分碱性与亚碱性 (当时称为钙碱性) 两大类独立的火成岩岩石系列奠定了基本框架。存在的问题是, 由于当时火成岩岩石学研究水平的局限, 还没有识别出拉斑玄武岩系列与钙碱性系列 (当今含义的) 的区别。而只是认识到它们都是 $\text{SiO}_2$ 接近饱和与过饱和的岩石系列, 其分异趋势均朝向富 $\text{SiO}_2$ 方向发展, 最终出现花岗质岩浆的这个共同特征, 从而把它们归属于同一个称为钙碱性 (或亚碱性) 的岩石系列, 以与另一个明显不同特征的碱性系列相区别。

3. Tilley (1950) 的贡献<sup>65</sup>: 主要有两点, 他建议把Kennedy的橄榄玄武岩 (olivine basalt) 改为碱性橄榄玄武岩 (alkali olivine basalt)。这个名词比原有的含义更明确, 被广泛接受。因为与拉斑玄武岩相比较, 前缀“碱性”表明, 在相同的 $\text{SiO}_2$ 条件下有较高的碱 ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) 含量, 另一个前缀“橄榄石”表明以出现橄榄石为特征, 岩石是 $\text{SiO}_2$ 不饱和的。另一个更为重要的贡献是, 首次指出造山带安山岩系列的演化趋势不同于大的层状岩体中的拉斑玄武岩岩浆的分离结晶趋势, 尽管它们的最终分异产物类似——均为流纹岩与花斑岩。Tilley认识到, 拉斑玄武岩并不像Kennedy所想像的那样只局限于大陆环境, 在大洋区, 如像夏威夷岛那样, 拉斑玄武岩占优势。他认为夏威夷岛的贫碱的拉斑玄武岩为洋盆的原生岩浆, 通过分离结晶演化出碱性岩浆, 即碱性橄榄玄武岩→马盖尔岩 (Mugearite) (夏威夷岩石学家所谓的安山岩)→粗面岩。大的层状岩体中的拉斑玄武岩岩浆的分离结晶作用导致最终形成少量的花斑岩, 在分异过程中的一个明显特征是, 有一个强烈的富铁趋势, 这在AFM图解上表现得特别清楚。Tilley指出, 虽然造山安山岩系列的最终成员为流纹岩, 但拉斑玄武岩分异形成花斑岩的路线不能解释造山带安山岩系列。因为造山安山岩不符合这个路线, 亦即在AFM图解上没有富铁趋势。另外, 拉斑玄武岩分异趋势亦不能解释造山带岩套中酸性岩所占比例相对大的事实。在洋岛上真正的安山岩是否存在尚不清楚, 相当的岩石是碱性类型的马盖尔岩或粗面安山岩, 而且数量相对小。造山带火山岩中安山岩与英安岩、流纹岩起着主导作用。与拉斑玄武岩岩浆的分离产物比较, 造山带安山岩显示了低的 $\text{FeO}/\text{MgO}$ , 常常 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 较高, 并认为它是拉斑玄武岩岩浆同化混染硅铝质地壳的结果。Tilley (1950) 的工作为后来在亚碱性系列中区分出拉斑玄武岩系列与钙碱性系列打下了基础, 不足之处是, Tilley仍然认为造山带安山岩系是拉斑玄武岩岩浆的派生物。

4. Tilley (1950年)以后: Nockolds (1954)<sup>66</sup>分出三类玄武岩, 拉斑玄武岩、碱性玄武岩以及“中心”玄武岩 (“central” basalt)。后者指与典型钙碱性安山岩、英安岩、流纹英安岩伴生的玄武岩。并指出, “中心”玄武岩在矿物学与化学上不同于拉斑玄武岩, 亦不同于碱性玄武岩。

Kuno(1960)<sup>[7]</sup>提出第三种原生岩浆,叫“高铝玄武岩”系列并认为在硅碱图上高铝玄武岩系列是一个独立的系列,处于拉斑玄武岩系列与碱性橄榄玄武岩系列的中间位置。

Yoder与Tilley(1962)<sup>[8]</sup>根据实验岩石学资料,提出Fo-Di-Ne-Qz四面体中有两个临界面,硅饱和面(Di-Ab-En)与硅不饱和临界面(Di-Ab-Fo)。两个临界面把玄武岩分为碱性玄武岩,橄榄拉斑玄武岩与拉斑玄武岩。并指出高铝玄武岩是拉斑玄武岩与碱性橄榄玄武岩的变种,例如拉斑玄武质的Skaergaard侵入体的淬火边缘相为高铝玄武岩,夏威夷碱性橄榄玄武岩系列中亦有高铝玄武岩。

Rittmann(1962)<sup>[9]</sup>基于Peacock碱钙指数的思想,在硅碱图上提出用组合指数( $\sigma$ )的概念划分火成岩系列。

Macdonald与Katsura(1964)<sup>[10]</sup>用硅碱图解区分了夏威夷岛的拉斑玄武岩岩套与碱性橄榄玄武岩岩套。

Wilkinson(1968)<sup>[11]</sup>用亚碱性(subalkaline)这个更广义的名词来包括拉斑玄武岩系列与钙碱性系列两个岩石系列,以此与碱性(alkaline)系列相区别。他的建议后来被广泛接受,成为当今火成岩系列划分的重要依据。

从上述的历史回顾中,我们可以看出,岩石学家们经历了半个多世纪(约60年)的努力探索对主要火成岩系列的划分才取得了比较一致的意见。本世纪初主要着力于区分碱性与亚碱性两大系列,不足的是没有识别出拉斑玄武岩系列与钙碱性系列(现代含义的)区别。本世纪中叶,才认识到拉斑玄武岩系列与钙碱性系列的重大区别,并逐渐地把本世纪初期的不甚确切的“钙碱性”一词缩小到与造山带火山岩相关的现今含义上来,并确认了拉斑玄武岩系列。进而,用亚碱性的名称来包括钙碱性与拉斑玄武岩两个岩石系列,废弃了“亚碱性”等于“钙碱性”的概念,从而使火山岩系列的划分获得了当代含义。

### 三、火成岩系列的当代含义

1. Irvine与Baragar(1971)的贡献<sup>[1]</sup>:1966年应加拿大大地测量与地球物理国家委员会的火山学分会的委托,Irvine等开始制定一个为加拿大使用的火山岩的化学分类方案,经火山学分会通过并于1971年发表专文于加拿大地球科学杂志。它把当时被大多数岩石学家使用、但还分散零星的火山岩系列的含义、划分等作了总结,提出了一个合理的总方案。公布后很快得到世界各国岩石学家们的承认,并广泛使用,可称为经典性论文,为火成岩系列的当代含义奠定了基础。

普通火成岩可分出三个主要岩石系列,即拉斑玄武岩系列,钙碱性系列与碱性橄榄玄武岩系列,前两个系列合称为亚碱性系列。对一个未知岩石分类时,首先要区分碱性与亚碱性系列,这经常用硅碱图解来完成,对于亚碱性系列来说,还要进一步用AFM图解来区别。需注意的是,不能违背这个步骤,否则会造成错误。因为从前面的历史回顾,我们已经知道,在相同的SiO<sub>2</sub>含量条件下,与碱性系列相比较,拉斑玄武岩系列与钙碱性系列均表现为贫碱的特征,两个系列均向富SiO<sub>2</sub>方向演化,最终形成花斑岩或流纹岩,因而在硅碱图上这两个系列位于相同的区域,分布于碱性系列的下方。拉斑玄武岩系列与钙碱性系列的差别则在于前者有一个明显的富铁趋势,而后者则无,所以在AFM图上可以正确地识别它们。碱性系列在

AFM图上亦常常显示一个富铁趋势,因而无法与拉斑玄武岩系列区别,如果不先用硅碱图区分亚碱性与碱性,就会造成错误。

2. Miyashiro (1974)<sup>[12]</sup>的贡献:用AFM图解区分拉斑玄武岩系列与钙碱性系列需要较多的岩石的化学组成数据,才能得到一个较好的变异趋势。另一个不足是该图无法区别两个系列的酸性端元。Miyashiro (1974)提出了 $\text{SiO}_2-(\text{FeO}^*/\text{MgO})$ 与 $\text{FeO}^*-(\text{FeO}^*/\text{MgO})$ 图解判别拉斑玄武岩系列与钙碱性系列,弥补了上述不足。单个岩石数据亦可用于系列的判别,亦可区别两个系列的酸性成员,因而得到了广泛的应用。

3. 亚碱性 (subalkalic, subalkline) 的含义:“sub”为词头,中文译名有“在…下面”、“亚”“次”等含意。目前,subalkaline译为亚碱性,已被广泛使用,但仍可见到有时把亚碱性理解为“适度碱性”,这是一种误解。这种误解在苏联,直至1983年仍由苏联名词委员会建议使用(转引自LeBas等,1986),苏联把亚碱性玄武岩(subalkaline basalt)理解为适度碱性的玄武岩(midly alkaline basalt),而把无标准矿物Ne的玄武岩称为“正常”玄武岩(“normal”basalt)。国内,这种误解造成的原因可能有二,一是我们较长时间地受苏联岩石学派的影响,二是按中文含义,“亚”、“次”均可理解为适度之意。追索历史来看,Subalkalic的提出源于Harker的硅碱图解,在此图解上太平洋周边的火山岩分布于大西洋周边火山岩的下面,分为碱含量显然不同的两大群,即在 $\text{SiO}_2$ 含量相同条件下后者比前者相对富碱。大西洋区的为碱性岩套,那末在硅碱图上分布于它下面的太平洋岩套就称为Subalkalic。因此,这里的“Sub”的原意应是“在…下面”,实质上为非碱性系列之意。由于在东方Subalkalic在含义上可能造成的某种误解,Miyashiro (1974)<sup>[13]</sup>早已建议把Subalkalic改为non-alkalic(非碱性),但是由于Subalkalic已被广泛使用,加之西方学者对此不易引起误解,所以Miyashiro的建议没有被广泛采用。我们的情况亦类似,亚碱性的译名已广泛被采用,重要的是要正确地理解亚碱性(等于非碱性)的真正含义。

4. 八十年代以来,在火成岩岩石系列的研究方面又有了新的进展。一些新的岩石系列开始被重视,例如,造山带富钾质的钾玄岩(shoshonite)系列,包括金伯利岩与煌斑岩组合(ultrapotassic)的超钾质系列( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 2-3$ ),包括钾镁煌斑岩(lamproite)系列的过钾质(perpotassic)系列( $\text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$ )等,由于篇幅所限,将另文讨论。

## 四、讨论

1. Peacock的碱钙指数、Rittman的组合指数与三个主要岩石系列的对应问题:已有的文献<sup>[15,16,17]</sup>把碱钙指数与组合指数作为划分碱度的度量,并把碱度与三个主要岩石系列的划分一一对应起来。认为,Peacock的钙性(碱钙指数 $> 61$ ,组合指数 $< 1.8$ )与拉斑玄武岩系列对应;钙碱性(碱钙指数 $= 61-56$ ,组合指数 $= 1.8-3.3$ )与钙碱性系列对应;碱钙性和碱性则与碱性玄武岩系列对应;并依据这个原则提出了只要用硅碱图就可划分三个岩石系列的图解<sup>[14,15,16]</sup>。这个概念与相应的图解在国内已得到了比较广泛的采用,但是用硅碱图就可区分三个岩石系列的概念与图解<sup>[14,15,16]</sup>是不对的,因为这是对三个主要岩石系列的当代含义的一种误解,在实际工作中已造成了一些错误的结论。正如我们前面指出的,在当代含义中,拉斑玄武岩与钙碱性系列的区别不在于“碱度”,而是前者有一个明显的富铁趋势,后者则无。

在硅碱图上是无法判断是否存在富铁趋势的,因而二者不能用“碱度”来判别。Miyashiro (1979)<sup>[17]</sup>早已指出,岛弧与活动大陆边缘的拉斑玄武岩系列与钙碱性系列的Peacock碱钙指数都高达56-57,即相当于Peacock划分的钙碱性。如果按照参考文献<sup>[15,16,17]</sup>的概念与图解,则Miyashiro指的两个系列均会错误地归属于钙碱性系列。Carmichael等(1974)<sup>[18]</sup>亦指出,按照Peacock碱钙指数的准则,不管大陆边缘的、还是大洋岛屿的许多拉斑玄武岩岩套是钙碱性的(碱钙指数=56-61)。如果按照参考文献<sup>[14,15,16]</sup>的准则,则这些拉斑玄武岩系列就会错误地归属于钙碱性系列。从Miyashiro与Carmichael的论述中,我们再一次看到,按“碱度”原则,不论是碱钙指数,还是组合指数都无法区别拉斑玄武岩系列与钙碱性系列。

2. Peacock碱钙指数与Rittmann组合指数的用途:如上所述,这两个指数无法区分拉斑玄武岩系列与钙碱性系列,但是,它可以用来有效地区分碱性与亚碱性系。除此以外,在研究岛弧与大陆边缘火山弧的组成极性(Compositional Polarity)时,这两个指数所指示的碱度(alkalinity)是很有用的。同样,对于其它构造环境下的火山岩来说,为了追索时,空分布规律,对于研究火成岩的化学演化趋势,火成岩的起源与成因等方面,这两个化学参数仍是很有用的。

最后,应强调指出,在学习引进新概念时,追索它的来龙去脉是十分必要的。

#### 参 考 文 献

- [1] Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A Guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks, *Can. Jour. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- [2] Peacock, M.A., 1931, Classification of igneous rock series, *Jour. Geol.*, 39, 54-67.
- [3] 查瓦里茨基A.H. 1956, 火成岩(中译本), 地质出版社.
- [4] Kennedy, W.Q., 1933, Trends of differentiation in basaltic magmas, *Am. Jour. Sci.*, 5, 25, 239-256.
- [5] Tilley, C. E., 1950, Some aspects of magmatic evolution, *Quart. Jour. Geol.Soc.Lond.*, 106, 37-61.
- [6] Nockolds, S. R., 1954, Average chemical compositions of some igneous rocks, *Bull. Geol. Soc. Am.* 65, 1007-1032.
- [7] Kuno, H., 1960, High-alumina basalt, *Jour. Petrol.*, 1, 121-145.
- [8] Yoder, H.S. and Tilley, C.E., 1962, Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rock system, *Jour. Petrol.*, 3, 342- 532.
- [9] Rittmann, A. and Vincent, E.A., 1962, *Volcanoes and their activity*, John Wiley & Sons.
- [10] MacDonald, G.A. and Katsura, T., 1964, Chemical Composition of Hawaiian lavas, *Jour., Petrol.*, 5, 82-133.
- [11] Wilkinson, J.F.G., 1968, The petrography of basaltic rocks, In *Basalts*. vol.1 H.H.Hess and A. Poldervaart(Ed.), 163-214, John wiley & Sons.
- [12] Miyashiro, A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins, *Am. Jour. Sci*, 274, 321-355.
- [13] Le Bas M.J. et al., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, *Jour. Petrol.*, 27, 745-750.
- [14] 邱家骧, 1980, 火山岩研究中的几个问题, 抚州地质学院学报, 2, 64-82.
- [15] 武汉地质学院岩石教研室编, 1980, 岩浆岩岩石学(下册), 地质出版社.
- [16] 邱家骧主编, 1985, 岩浆岩岩石学, 地质出版社.

- (17) Miyashiro, A., 1979, 变质作用与变质带(中译本), 地质出版社.  
(18) Carmichael, I.S.E.等, 1982, 火成岩岩石学(中译本), 地质出版社.

## A Review of the Classification of Igneous Rock Series and Its Present Meaning

Deng Jinfu

(China University of Geosciences, Beijing)

**Key words:** igneous rock series; review; present meaning

### Abstract

This paper makes a historical review of the classification of igneous rock series, and points out how the modern idea of igneous rock series is developed as well as their difference in meaning in the past and at present, in order to clear up a misunderstanding as to the division of igneous rock series. In the first half of the twentieth century, the subalkalic and calc-alkalic series were synonymously used. However, the subalkalic rock series is not equivalent to the calc-alkalic series in the modern concept. The misunderstanding about the classification of igneous rock series in Chinese literature may be owing to little knowledge about the change in their meanings in the history.