

火成岩的稳定矿物组合 计算方法

〔意〕A. 里特曼 著

地质出版社

火成岩的稳定矿物组合

计 算 方 法

〔意〕 A. 里特曼 著
金秉慧 译
张安棣 校
刘智星

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书开辟了研究火成岩化学成分的新途径,论述了“火成岩相”的概念,阐明了由岩石的化学成分计算各种火成岩相的稳定矿物组合(里特曼标准矿物成分)的原理及方法,较好地解决了火山岩的分类命名问题。书中对计算的稳定矿物组合和实际矿物成分之间出现误差的原因作了较全面的分析。书末还收入了探讨里特曼标准矿物成分和 C. I. P. W 标准矿物成分的对比、里特曼标准矿物成分在岩石学问题上的应用以及计算里特曼标准矿物成分的 AIGOL 程序等文章。

全书由金秉慧译,张安棣、刘智星校,校注由刘智星所加。

读者对象:区域地质调查工作者,火成岩科研人员,地质院校师生。

A. Rittmann

Stable Mineral Assemblages of Igneous Rocks

A Method of Calculation

据 Springer-Verlag Heidelberg 1973 版翻译

火成岩的稳定矿物组合

计 算 方 法

〔意〕 A. 里特曼 著

金 秉 慧 译

张 安 棣

刘 智 星 校

•

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•

1979年10月北京第一版·1979年10月北京第一次印刷

印数1—6,390册·定价1.10元

统一书号: 15038·新423

序

本书是艾尔弗雷德·里特曼 (Alfred Rittmann) 教授在大约30年前就着手的长期研究的成果。它尽可能地确立了火成岩的化学成分和矿物成分之间的关系。岩石学家们会意识到这个问题极为复杂,特别是,因为这种关系是火成岩分类及命名的基础。

C. I. P. W. 标准矿物成分系统的巧妙计算方案,其本质基本上是化学计算。理想配比的“标准矿物”的成分与岩石中见到的组成矿物的成分并不符合。虽然不能希望岩石的“标准矿物成分等于实际矿物成分”,但是二者之间至少在定性上应该一致。就许多岩石或岩石组,特别是淡色岩和硅酸质岩石而言,它们的“标准矿物成分”与“实际矿物成分”间的偏差一般是在允许限度之内的。但对暗色岩石和高次硅酸质岩则 C. I. P. W. 计算的结果常常不能反映观察到的矿物成分。最近, F. 蔡斯 (F. Chayes) 和 H. S. 小约德 (H. S. Yoder Jr, 1971) 简单地讨论了极次硅酸质火山岩计算中所产生的异常问题。

C. I. P. W. 标准矿物成分与实际矿物成分常不一致,促使里特曼教授发展一种计算标准矿物成分的新方法。这种新的计算系统原来只用于火山岩,后来经过修改,并进而运用于次火山岩和深成岩。为使这种新计算方法与 C. I. P. W. 计算方法所得的结果相区别,这里把新的标准矿物成分叫做里特曼标准矿物成分。作者的意图并不是想用里特曼标准矿物成分取代 C. I. P. W. 标准矿物成份,只不过是提供另一种计算方法。这两种方法哪一种较适用,由读者决定。

里特曼教授完全是以经验为根据来研究这个问题。某一岩石组主要组分的平均成分是以所得到的分析数据为基础来确定的。求得的平均值用于计算此类岩石组的标准矿物成分。可以举霞石的二氧化硅含量作为一个简单的例子:中次硅酸质响岩中的霞

石，通常含有过量的二氧化硅，而在强次硅酸质霞岩和黄长石霞岩中的霞石，则实际上没有过量的二氧化硅。里特曼计算系统考虑了霞石中二氧化硅含量的这种不同而加以调整。

这种以经验为根据的计算方法还可以从计算标准霞石和白榴石分子的方法来进一步说明。许多似长石岩石分析数据表明这两种似长石的实际产出（单独的或共生的），不仅与整个岩石中的 $K/(K+Na)$ 比有关，也与岩浆的流动性有关。硅铝质岩浆比铁镁质岩浆的粘性大，因而更容易保留其中的气体。白榴石的稳定区因而减小。根据这一原则，对“流性”岩浆和“粘性”岩浆分别进行计算。在计算中，“流性”和“粘性”岩浆在数字上是相互区别的。这样计算使标准矿物成分与实际矿物成分之间不仅有定性的一致性，而且具有半定量的一致性。

必须强调，里特曼标准矿物成分虽然比 C. I. P. W. 标准矿物成分具有较大的“真实性”，但仍然只是计算出的标准矿物成分。这种新的计算系统所算得的标准矿物成分只能接近于实际矿物成分并表示各种组分的比例，而不是它们准确的成分。里特曼标准矿物成分是用来表示岩浆在足以保持化学平衡而缓慢地进行完全结晶时所能形成的一种大致的稳定矿物组合。就每一单独的岩石而言，不能期望里特曼的标准矿物成分与实际矿物成分之间具有定性的及定量的完全一致性。本书第七章专门讨论某些差异的可能原因。在 V. 戈梯尼 (Violetta Gottini) 的文章中对 C. I. P. W. 和里特曼标准矿物成分作了详细的评论对比。

本书编有详尽的计算检索表，可帮助读者计算岩石分析数据。这个计算系统看来有点冗长，需要若干步骤，但对一种给定的岩石，实际只使用一部分计算步骤就行了。用本计算系统计算一系列岩石分析数据的例子，将指导读者进行计算。这些例子说明怎样消除不一致性以及怎样解释它们。

为便利需要处理大量分析数据的读者，R. 斯坦吉林 (R. Stengelin) 和 W. 休尔斯 (W. Hewers) 把这种计算方法编制了 Algol 语言程序的专门小册子，采用了 CD 3300 电子计算机进行

处理。计算检索表中的各种关系均以数字方程表示。

在 H. 皮奇勒 (H. Plöcher) 和 R. 斯坦吉林的文章中说明了关于里特曼标准矿物成分计算系统的应用。

本书提出的标准矿物成分系统, 主要是为了澄清火成岩的命名在文献中出现的某些混乱。希望本书对于取得一种较为统一的命名法有所贡献。

Th. G. 萨哈玛 (Th. G. Sahama) 1973, 4,

于赫尔辛基

自序

早在 1941 年, 作者就曾试图设计一种能够近似地表达火山岩的实际矿物成分与化学成分关系的图表系统。以后在 1952 年, 由于当时国际火山学会主席 G. B. 埃舍尔 (G. B. Escher) 的要求, 发表了一种便于岩石专业的火山学家解释岩石化学分析数据的较为准确的图表系统。这种初步成果并没有打算给需要更为准确的计算系统的岩石学家们使用。

在此期间, 已经取得大量新数据, 这就有可能在统计学的基础上进行更为广泛的处理, 但是, 很快就发现这一问题的解决比原先设想的要复杂得多。实验岩石学的成果有助于搞清楚岩浆结晶过程, 但在许多情况下, 这些成果不能外推到更为复杂的天然系统。图表系统的进一步改进必须以经验材料为依据。

在 C. N. E. N. (罗马原子能国家委员会) 采矿处的要求下, 作者在 1967 年提出了题为: “火山岩稳定矿物组合的计算” 的初步报告, 这个报告曾被 M. 米坦波弗 (M. Mitterperger) 及其合作者们广泛采用。对他和他的研究小组成员有益的讨论及提供的新资料, 作者表示感谢。

在进一步改进计算方法时, 在关于某些岩石的相平衡以及异象关系上, 遇到许多作者不熟悉的问题。许多问题必须和有经验的岩石学家商讨。作者特别感谢 G. 马里奈尔 (比萨), G. A. 麦克唐纳 (G. A. Macdonald) (奥阿胡岛, 夏威夷), M. 米坦波弗 (罗马) Th. G. 萨哈玛 (赫尔辛基) 以及 A. 斯特雷凯森 (A. Streckelsen) (伯尔尼), 感谢他们的评论和有益的建议。

为了改进计算, 就必须计算尽可能多的分析数据。必须感谢蒂宾根的 H. 皮奇勒和 R. 斯坦吉林的大力协助, 他们为新的标准矿物成分系统编制了电子计算机程序, 并计算了数千个分析数据, 使得这一方法得到连续的反馈并不断改进。作者深切地感谢

这些有能力的合作者们的耐心帮助和支持。对合作者V. 戈梯尼、R. 罗马诺 (R. Romano) 及L. 维拉里 (L. Villari) (卡塔尼亚) 等所给予的宝贵援助一并致谢。对 Th. G. 萨哈玛和 G. A. 麦克唐纳审阅原稿以及H. 皮奇勒和R. 斯坦吉林在编辑上的协助，作者特别致以谢忱。

A. 里特曼 1973, 4,

于卡塔尼亚

I、绪 论

1. 以前的计算方法

从一种火成岩的化学成分得出其定量矿物组合是一种吸引人的想法。1903年时, W. 克劳斯 (Cross) J. P. 伊丁斯 (Iddings) L. V. 皮尔逊 (Pirsson) 和 H. S. 华盛顿 (Washington) 等人曾做过这种尝试, 提出了 C. I. P. W. 标准矿物成分系统。在这一系统中, 岩石分析结果用规定的计算方案换算成一种标准矿物组合。所选定的矿物组分 (看作在化学计算上理想的化合物), 其含量用重量百分数表示。这种计算方案主要是以对钙碱系及钠系火山岩所作的研究为基础的。

实际上, 计算所得的标准矿物成分, 在许多情况下与实际矿物成分 (即实际观察到的矿物成分) 大体吻合。但是标准矿物成分与实际矿物成分不符的情况更为常见。这种刻板的标准矿物成分计算方案, 是“鸽笼”式的, 不能根据岩石中所见到的实际矿物成分而加以调整。

1936年 P. 尼格里 (Niggli) 提出的标准分子计算是比较灵活的。虽然这一方法也是以化学计算上的理想化合物为基础, 但计算结果更接近于实际矿物成分。与 C. I. P. W. 系统比较, 尼格里标准矿物成分的优点是不仅可以计算所谓的“深带标准矿物成分”例如铁镁质硅酸盐, 包括辉石及橄榄石, 也有其它的实际矿物组分, 即黑云母, 闪石和黄长石; 在大多数情况下, 这种计算可以在某种程度上使岩石的实际矿物成分和总体化学成分相互核对。

在 W. E. 特吕格 (Tröger 1935, 1939) 著名的汇编中, 他提

出了大约上千种原型火成岩的矿物成分。其中某些实际矿物成分曾用罗氏 (Rosiwal) 法测定, 有些仅是估计的, 但大多数是根据一组未发表过的方程式, 从化学分析数据计算得来的^①。这些方程式是根据在许多岩石类型中对主要的组分估算的平均成分而得的。用来导出方程式的特定矿物列于W. E. 特吕格(1935)著作的343—346页中。这种计算, 方程式数目往往多于要确定的组分的数目。因此有可能在各种方程式中进行选择, 以便得到一种与在显微镜下观察到的实际矿物成分最吻合的矿物组合。由于辉石和闪石的成分的巨大变化, 这种计算只能得到近似的数据, 而这种数据又受岩石学家个人判断所影响。此外, 必须说明的是, 所提到的大量岩石, 特别是深成岩, 是或多或少蚀变了(表现在有次生矿物存在或在化学分析结果中、水、高价铁和二氧化碳的含量很高, 或三氧化二铝超过了碱及氧化钙的分子总和。某些化学分析结果(不仅是那些上一世纪所取得的结果)肯定是错误的。由于这些原因, 特吕格(1935、1939)文章中所引用的大量分析数据在本书中未予考虑。

2. 火山岩的命名

大多数岩石学家同意这种意见, 即火成岩必须根据它们用体积百分数表示的实际矿物成分来分类。把这个原则引用到火山岩的命名及分类, 只适用于可以在显微镜下用计点法或其它方法测定其实际矿物成分的全晶质岩石变种。可惜, 只有基性火山岩才常常具有全晶质结构。较为酸性的火山岩往往含有一部分玻璃质或者以玻璃质为主。要对半晶质或玻璃质的岩石确定正确的名称, 就必须从岩石的化学总分析结果计算矿物成分。

令人遗憾的是火山岩的名称在文献中存在某些混乱。一种喷出岩, 其名称与化学分析不符合是并不罕见的。火山岩的命名经

① 已故的W. E. 特吕格和作者在1960年的私人通信。

常只根据斑晶而不考虑微晶或玻璃质的基质。岩石的化学总分析反映全岩的成分，同时可以说明岩石所属的岩浆类型。所以，火山岩的命名，只根据镜下对其斑晶的鉴定是不够的。许多岩石学家和地质学家的这种疏忽，会在地质学的、岩浆学的以及地球物理学的结论中造成严重的后果。

因此，建议遵循P. 尼格里（1931）的意见，即当岩石仅根据镜下鉴定的结晶组命名，而没有岩石化学总分析的情况下，对半晶质岩石的名称加一前缀“斑晶”（pheno）。例如，“斑晶-安山岩”（pheno-andesite），这个名称是指这一岩石只在显微镜下（或肉眼观察）研究过，它的实际成分可能与真正的安山岩并不相符。

如果有化学分析可以利用，建议岩石名称不要根据显微镜的观察而要根据对分析结果的准确计算来确定。如果所定的岩石名称与从化学分析所得计算结果不一致时，则所用的名称必须是斑晶-名称。为了表示岩石的镜下特征，可把斑晶-名称作为形容词加在从化学分析得到的真实名称之前，例如：斑晶-安山质英安岩（pheno-andesitic dacite）。

为说明这种不一致的频率，在表1及表2中将作者根据显微镜观察（左边的一行）所提出的名称与从岩石化学总分析算出的潜在的实际矿物成分加以对照。根据这两个表，大多数所谓的安山岩应是斑晶-安山质英安岩或斑晶-安山质安粗安山岩。把这些岩石的潜在的实际矿物成分标绘在斯特雷凯森（Streckeisen）的双三角图中（图3）可得到如图1、图2所示的它们的分布区域。

使用“斑晶”前缀的必要性可用下述事实进一步说明，从化学成分均匀的熔岩流所取的标本，由于结晶程度不同，可能给予不同名称。所以，比如一块约含60%的玻璃和拉长石斑晶（20%），普通辉石和一些橄榄石颗粒的橄榄粗安岩标本，许多作者会称它为“玄武岩”。同一熔岩流的结晶程度较高的标本看来可能是“安山岩”，因为其中斜长石（中长石）远超过铁镁质矿物。在结晶程度更高的标本中，还会晶出足够数量的透长石，以致可以叫做

表 1 文献中的火山岩名称和按里特曼标准矿物成分的新名称之间的差别。实例：633 个日本年青火山岩分析数据〔据 K. 小野 (Ono), 1962〕及 232 个夏威夷岛年青火山岩分析数据〔据 G. A. 麦克唐纳, 下桂 (Katsura) 等〕。玻璃质火山岩的分析数据未考虑〔据 R. 斯坦吉林 (未发表)〕

岩石类型	日 本		夏 威 夷	
	据文献分析数	据里特曼标准矿物成分数	据文献分析数	据里特曼标准矿物成分数
碱性流纹岩	—	3	—	—
流纹岩	35	3	—	—
流纹英安岩	1	27	1	1
英安岩	54	191	—	—
斜长英安岩	—	108	—	—
碱性粗面岩	—	1	2	4
粗面岩	—	—	4	—
安粗岩	—	4	—	—
安粗安山岩	38	58	—	—
安山岩	406	218	2	—
安粗玄武岩	—	—	—	1
橄榄粗安岩	—	2	3	8
中长玄武岩	—	16	16	21
拉斑玄武岩	—	2	104	110
玄武岩	99	—	36	26
橄榄玄武岩		—	39	24
碱性玄武岩	—	—	13	11
响岩质碱玄岩	—	—	—	18
碱玄岩	—	—	12	8

“安粗安山岩”。但是关于 15—20% 的填隙玻璃物质的实际成分仍然是个疑点。其中是否含有潜在的石英或霞石, TiO_2 的含量有多少, 将决定岩石的确切名称。只有在相当粗粒的全晶质标本中, 才可以在镜下鉴定出所有的透长石和霞石, 从而表现出岩石的橄榄粗安岩的特征。

当然, 用根据化学分析的纯化学分类以及使用双重命名法, 即在镜下鉴定得出的岩石名称前加上一个表示其化学成分特征的

表 2a 希腊南爱琴海地区 181 个年青火山岩文献上的名称和据里特曼标准矿物成分命名间的差别 (引自 H. 皮奇勒及 R. 斯坦吉林 1968, 800 页)

据文献上的 旧 名 称	据文献上的 分 析 数	据里特曼标 准矿物成分 的 分 析 数	新 名 称 (按斯特雷凯森分类法)
碱性流纹岩	6	21	碱性流纹岩
流纹岩	24	17	流纹岩
流纹英安岩	2	14	流纹英安岩
英安岩及英安岩类	52	29	英安岩
——	—	5	斜长英安岩
碱性粗面岩	1	—	碱性粗面岩
粗面岩	4	3	粗面岩
粗面英安岩	4	—	——
——	—	11	安粗岩
粗面安山岩	9	57	安粗安山岩
英安安山岩	5	—	——
安山岩	54	19	安山岩
安山玄武岩	1	—	——
玄武岩	2	—	玄武岩
橄辉玄武岩	1	—	——
——	—	1	响岩质碱玄岩
无名	17	—	——
总计	181	181	

表 2b 南爱琴海地区 181 个年青火山岩的出现频率(百分数), 旧名称的百分数写在括号中

数 量 百 分 数	岩 石 名 称
31.5 (2.2)	安粗安山岩
16.0 (28.7)	英安岩
11.4 (2.8)	碱性流纹岩
10.5 (29.8)	安山岩
9.4 (13.2)	流纹岩
7.8 (1.1)	流纹英安岩
6.1 (—)	安粗岩
3.9 (2.2)	粗面岩
2.8 (—)	斜长英安岩
0.6 (—)	响岩质碱玄岩

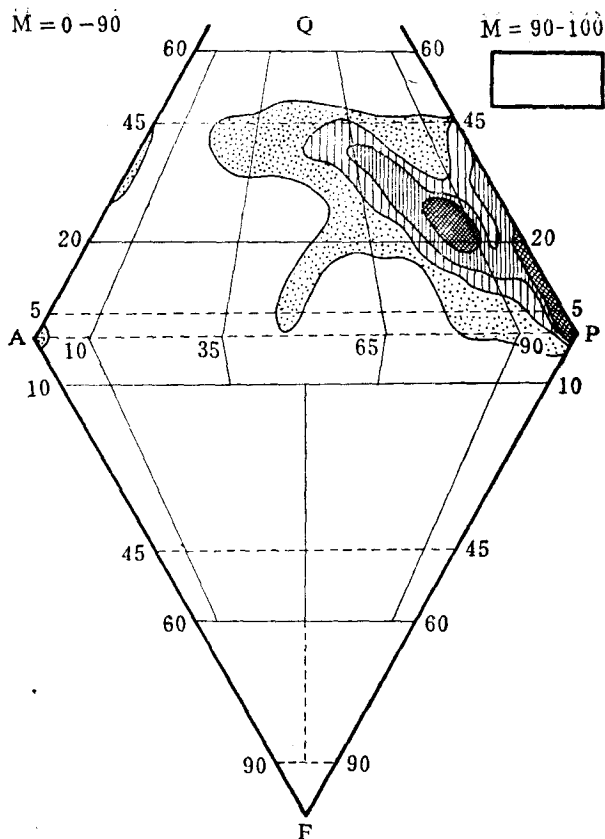


图 1 日本633个年青火山岩的分布

〔据R. 斯坦吉林 (未发表); 分析数据引自K. 小野, 1962〕

形容词的方法可以避免使人误解的名称。

按这种方法建立一种通用的岩石命名法的尝试没有成功 (P. 尼格里, 1931)。而用数字符号来表示岩石的建议 (例如 C. I. P. W. 系统), 则更难被采纳, 主要是因为就那些符号的真实意义来说, 对一个不是计算和应用这种符号的专家的普通地学家, 始终是不可理解的。

同样行不通的是许多地方性的岩石名称, 它们只表示在特定

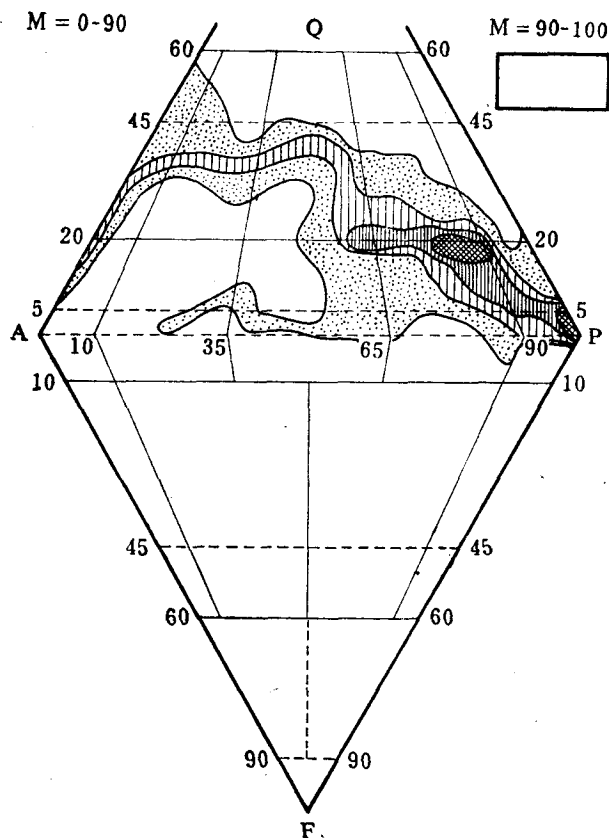


图 2 希腊爱琴海区181个年青火山岩的分布
〔据H. 皮奇勒及R. 斯坦吉林, 私人通信〕

地区发现的一种特殊岩石类型。表 3 中搜集了这种地方名称的几个例子。

对表 3 必须加以说明, 即, 由尼格里 (1936) 所定义的几种岩浆类型实际上指的是没有熔融的相当物的深成岩, 例如岩浆堆积岩, 以及某些变质成因的深成岩。这些岩石不应包括在岩浆类型的命名当中。

表 3 不同岩石类型命名法举例

按斯特雷凯森的 火山岩名称	地 方 名 称	尼 格 里 的 岩 浆 类 型	C.I.P.W.
白 榴 碧 玄 岩	基 威 岩 (Kivite)	企 猎 岩-辉 长 岩 类 煌 斑 白 橄 二 长 岩 型	II (III), 6, (2), 3, 3"
橄 榄 粗 面 岩	西 敏 尼 岩 (Ciminite)	煌 斑 正 长 岩 型	II, 5, 2, 2
暗 色 橄 榄 白 榴 岩	巴 都 基 岩 (Batukite)	辉 石 岩 型	IV, 1(2), 2, 2(3), 1(2)
响 质 岩 碱 玄 岩	陶 蒂 利 岩 (Tautirite)	斜 长 正 长 岩 型	I (II), (5)6, 2, 3

3. 火山岩的分类

所推荐的方法是从化学分析算出岩石在火山或深成条件下完全结晶所能形成的某种矿物成分。这种计算反映出在熔融体最后一部分结晶的温度条件下稳定的矿物组合。计算必须根据造岩矿物的实际成分而不能根据理想的标准矿物组分。把计算结果用体积百分数表示。根据火山岩在任一定量分类图中的标绘点而确定其正确的岩石名称。

本书采用的火成岩分类图是以 P. 尼格里 (1930) 提出的双三角形为基础的。用于火山岩分类时, 曾稍有改变 (A. 里特曼, 1933, 1960), 由 A. 斯特雷凯森 (1967, 1968) 最后修订。最后这种形式 (图 3; 表 19 及 20 页) 已为大量岩石学家所接受, 为了国际间使用一个统一的火山岩^①命名法, 最好能普遍采用这个

① T. F. W. 巴尔特 (Barth) (见斯特雷凯森的著作, 1968) 曾提及这一问题, “国际地科联 (IUGS) 鉴于应对不断增加的地质资料完全而有效地加以利用这一重要性, 曾建立了许多委员会和工作小组。它们的根本目的是使这些资料系统化并消除现存的混乱……IUGS 认识到, 为使用现有的资料, 就必须和地质学的经典形式及它们的命名法建立联系, 从而使地质术语具有定量的含义。所以, 有一个作为基础的适当的岩石分类和岩石命名法是极为重要的”。

系统。

但是，在双三角图中一些分区所表示的某些岩族，除了根据颜色指数细分外，还需要进一步细分。这种细分，对安粗安山岩/安粗玄武岩和安山岩/玄武岩（图中第9及10分区）尤其需要。区分拉斑玄武岩、碱性玄武岩及高铝玄武岩已成为一种普遍的实际需要。大体上可以说，拉斑玄武岩和高铝玄武岩落于10分区的中上部，而不饱和的碱性玄武岩位于同一分区A—P线以下的下部。根据双三角图区分拉斑玄武岩和高铝玄武岩是不可能的，因此需要其它的准则。

近来发现（A. 里特曼，1967，1970；V. 戈梯尼1968，1970）所有的活火山的熔岩可以分为两种反映火山的构造位置的显然不同的岩群，这种“火山作用的两分性”在以 τ （V. 戈梯尼，1968）及 σ （A. 里特曼的系列指数，1957）为坐标的图形中表现得非常清楚，这两个数值分别是：

$$\tau = (\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}) / \text{TiO}_2 \text{ (重量百分数)}$$

$$\sigma = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})^2 / \text{SiO}_2 - 43 \text{ (重量百分数)}$$

见图4及5。

τ 值适用于区分高铝玄武岩与拉斑玄武岩及碱性玄武岩。事实上，久野的高铝玄武岩〔久野（Kuno），1960〕 τ 值从大于10到约30，而典型的拉斑玄武岩〔G. A. 麦克唐纳及下桂（T. Katsura）1964〕其 τ 值在4—8之间，与碱性玄武岩相似。真正的安山岩（ $\tau > 10$ ）和曾称为中长玄武岩（G. A. 麦克唐纳，1960）的“碱性安山岩”的区分与此极为相似。许多所谓的高铝玄武岩，严格说来实际上是安山岩。在高铝玄武岩和安山岩之间由于颜色指数的不断变化而存在一切过渡类型的岩石。因此，最好把高铝玄武岩叫作暗色安山岩，以表明它们的天然的联系（A. 里特曼，1971）。日本的某些所谓的拉斑玄武岩以其 τ 值高而不同于真正的拉斑玄武岩（夏威夷）及拉斑玄武岩的漫流玄武岩（克拉通区），并应作为一种暗色安山岩。从岩石学及岩浆学的观点，以 τ 值区