

阿拉斯加型超镁铁质岩的岩石化学特征

张魁武 沈步明 李达周 张旗

(中国科学院地质研究所, 北京)

一般认为, 阿拉斯加型超镁铁质岩是一种富铁质的岩石, 当发育完好时, 通常具环状分布, 故又称为“环状侵入体”。在美国阿拉斯加东南和苏联乌拉尔研究较详^[1-3], 我国对这类岩体还缺乏研究。最近几年, 我们在云南西部鉴别出一系列阿拉斯加型的岩体, 其中包括景谷县的半坡^[4]和蕨里岩体、维西县的吉岔岩体等, 构成了一个阿拉斯加型岩带, 我们称之为澜沧江岩带。

早在1972年, E. D. Jackson和T. P. Thayer^[5]已讨论了阿拉斯加型、阿尔卑斯型以及层状侵入体之间的异同点, 但是没有岩石化学方面的资料。王恒升和白文吉^[6], 吴利仁^[7]、刘若新^[1]以及张雯华和从柏林^[8]还广泛讨论过各类超镁铁岩的岩石化学问题, 因此, 本文不拟重复上述作者的研究, 而试图通过阿拉斯加型、蛇绿岩和层状侵入体这三类岩石特征的对比, 着重讨论阿拉斯加型超镁铁岩的岩石化学特征, 并对它的成因作一初步的探索。

一、数据的处理

笔者收集了几百个阿拉斯加型、蛇绿岩及层状侵入体的超镁铁质堆晶岩的化学分析资料, 为了使本文的讨论具有代表性和可靠性, 所收集的数据均来自研究程度较高的和公认的典型岩体。其中, 阿拉斯加型包括²⁾: 美国阿拉斯加东南部的Duke岛、Union Bay、Turnagain, 美国西部的Bear山和Emigrant, 苏联乌拉尔的Tagil, Kachanar, Koswinski Kamen、Kon-jakovski Kamen、Denezhin Kamen以及加拿大的Tulameen等, 为了对比, 也加上了云南吉岔和半坡的资料; 蛇绿岩的堆晶岩包括: 希腊的Pindos、Vourinos, 西阿尔卑斯、美国的Point Sal、Baltimore Burro、蒙古的汗泰锡尔、巴基斯坦的Sakhakot、巴布亚新几内亚、澳大利亚的Tasmania、新西兰、太平洋、大西洋及印度洋中脊等; 层状侵入体包括: 美国的Stillwater、加拿大的Deer湖、南非的Bushveld、津巴布韦大岩墙、格陵兰的Skaergaard、英国的Skye、塞拉利昂的Freeiown、苏联的诺里尔斯克等。

对于上述样品中氧化物总量不足98%和大干102%的部分以及原定名与数据明显不吻合的部分均

予以剔除。在此基础上, 对全部数据按同一标准重新进行了计算, 所得到的各类岩石的算术平均值(换算为干成分的100%)列于表1, 数据投在图1—3中, 封闭的曲线代表95%以上样品的分布范围。

二、讨 论

1. 从表1和图1—3中看出, 阿拉斯加型岩体与蛇绿岩的堆晶岩以及层状侵入体同类岩石的化学成分虽有某些类似之处, 但是也有明显的区别。最突出的是阿拉斯加型岩体的贫硅富钙特征, 其中, 尤以辉石岩类表现得更强烈(图1、2), 以 SiO_2 为例, 阿拉斯加型分别比蛇绿岩和层状侵入体低2%和6%, 而CaO则分别比后二者高出1倍和2.5倍。除了阿拉斯加型岩体贫 SiO_2 而外, 多数缺少标准矿物紫苏辉石, 而且有标准矿物霞石甚至白榴石, 也证明该类岩体的强烈硅不饱和和特征。

阿拉斯加型也可称为富钙的超镁铁岩类。在图1中与另两类也有重迭, 但平均成分有显著差异, 且阿拉斯加型缺乏贫钙的组分, 则是显而易见的。据了解, 超镁铁岩中CaO之不同主要反映构成岩石成分的不同以及辉石成分的不同。阿拉斯加型的矿物组合是橄榄石+透辉石(单辉橄榄岩)和透辉石±磁铁矿±角闪石(单辉岩、磁铁矿单辉岩)。这种组合即决定了阿拉斯加型辉石岩贫硅富钙的性质, 这从 SiO_2 -CaO图中看得很清楚。在图2中, 阿拉斯加型辉石岩几乎不与其它两类辉石重迭; 可作为判别图来使用。与此相对照的是, 层状侵入体的橄榄岩由橄榄石和斜方辉石组成, 很少单斜辉石, 它的辉石岩也以斜方辉石为主, 为斜方辉石岩, 二辉岩较少, 单辉岩更少。因此, SiO_2 较富和CaO较贫, 同时, 标准矿物紫苏辉石也较丰富, 尤其是辉石岩中, 标准分子紫苏辉石平均含量达55.61%, 而阿拉斯加型却无紫苏辉石(表1)。至于蛇绿岩中的堆晶岩则比较复杂, 产于不同的构造环境的蛇绿岩具有不同的分离结晶顺序。若以大洋中脊

1) 刘若新, 1963, 中国超基性岩的岩石化学。中国基性岩、超基性岩及镍铬矿床。

2) 为节省篇幅, 下面所列产地的文献一律从略。

本文1987年3月收到, 1988年1月收回, 周健编辑。

表 1 岩石化学分析 (平均值)
Table 1 Petrochemical analyses(ave.)

橄 榄 岩 类				辉 石 岩 类		
	阿拉斯加型	蛇 绿 岩	层状侵入体	阿拉斯加型	蛇绿岩	层状侵入体
样 品 数	68	59	70	45	44	54
SiO ₂	40.65	42.58	41.63	46.04	48.39	52.27
TiO ₂	0.14	0.06	0.10	0.60	0.18	0.26
Al ₂ O ₃	2.69	1.98	3.33	4.32	4.56	5.26
Fe ₂ O ₃	4.00	5.86	6.10	5.47	4.70	2.75
FeO	8.87	4.80	7.21	7.04	5.57	8.60
MnO	0.20	0.15	0.18	0.16	0.16	0.19
MgO	37.66	40.91	37.83	17.24	26.11	24.47
CaO	5.21	3.42	3.08	18.46	9.89	5.16
Na ₂ O	0.50	0.14	0.35	0.48	0.38	0.68
K ₂ O	0.04	0.05	0.15	0.09	0.02	0.27
P ₂ O ₅	0.03	0.05	0.04	0.09	0.03	0.08
Or	0.00	0.30	0.89	0.00	0.12	1.60
Ab	0.00	1.18	2.96	0.00	3.22	5.75
An	4.98	4.62	7.07	9.36	10.68	10.50
Lc	0.19	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00
Nc	2.29	0.00	0.00	2.20	0.00	0.00
Di	9.21	9.51	6.32	55.53	30.42	11.65
Hy	0.00	4.68	1.43	0.00	21.02	55.61
Ol	78.29	77.91	79.09	25.33	32.61	12.53
Mt	1.87	1.55	1.93	1.81	1.49	1.65
Il	0.27	0.11	0.19	1.14	0.34	0.49
Ap	0.07	0.11	0.09	0.20	0.07	0.17
Mg'	0.84	0.87	0.84	0.71	0.82	0.80

注: $Mg' = MgO / (MgO + FeO^*)$ (原子数), 其中 FeO^* 表示全铁。

Or—钾长石; Ab—钠长石; An—钙长石; Lc—白榴石; Nc—霞石; Di—透辉石; Hy—紫苏辉石; Ol—橄榄石; Mt—磁铁矿; Il—钛铁矿; Ap—磷灰石

Or—Orthoclase; Ab—Albite; An—Anorthite; Lc—Leucite; Nc—Nepheline; Di—Diopside; Hy—Hypersthene; Ol—Olivine; Mt—Magnetite; Il—Ilmenite; Ap—Apatite

环境而论, 通常以橄榄石+斜长石组合为代表, 而岛弧环境则常见橄榄石+单斜辉石组合^[9-11]。因此, CaO丰度不如阿拉斯加型高, 在图2中与层状侵入体相近, 同处于图的右下角, 在图3中投影点高度分散。在图3中, 阿拉斯加型超镁铁岩不论是橄榄岩或辉石岩类, 均集中于Di-Ol一侧; 层状侵入体的橄榄岩类贴近Ol-Hy边, 辉石岩类则占据Ol-Hy和Hy-Di边; 蛇绿岩的超镁铁质堆晶岩介于二者之间, 尤其是辉石岩, 几乎散布于Di-Ol-Hy三角图的整个区域, 似乎属于前二者之间的过渡类型。

2. 阿拉斯加型橄榄岩的 Mg' 值(0.84)低于蛇绿岩(0.87), 与层状侵入体一致, 而辉石岩的 Mg' 值

(0.71)则是最低的(表1)。阿拉斯加型铁的丰度较高, 一方面, 使早期晶出的橄榄石较富铁($Fe = 91 - 78^{[9,12]}$), 指示初始岩浆可能是适度富铁的; 另一方面, 反映在岩石组合中常有少量磁铁矿的加入。尤其对辉石岩来说, 有时磁铁矿的含量可占15%^[11]。磁铁矿在岩浆分异的早期阶段晶出, 表明岩浆具有较高的氧逸度^[13], 以磁铁矿或钛铁矿的形式出现(表1中阿拉斯加型岩体钛的丰度最高, 可能即赋存于钛磁铁矿中)。据我们研究, 阿拉斯加型超镁铁岩中钒的丰度也是这三类岩体中最高的, 钛和钒具相关性, 推测钛和钒大部分存在于含钒钛磁铁矿中。

3. 阿拉斯加型超镁铁岩独特的化学特征暗示,

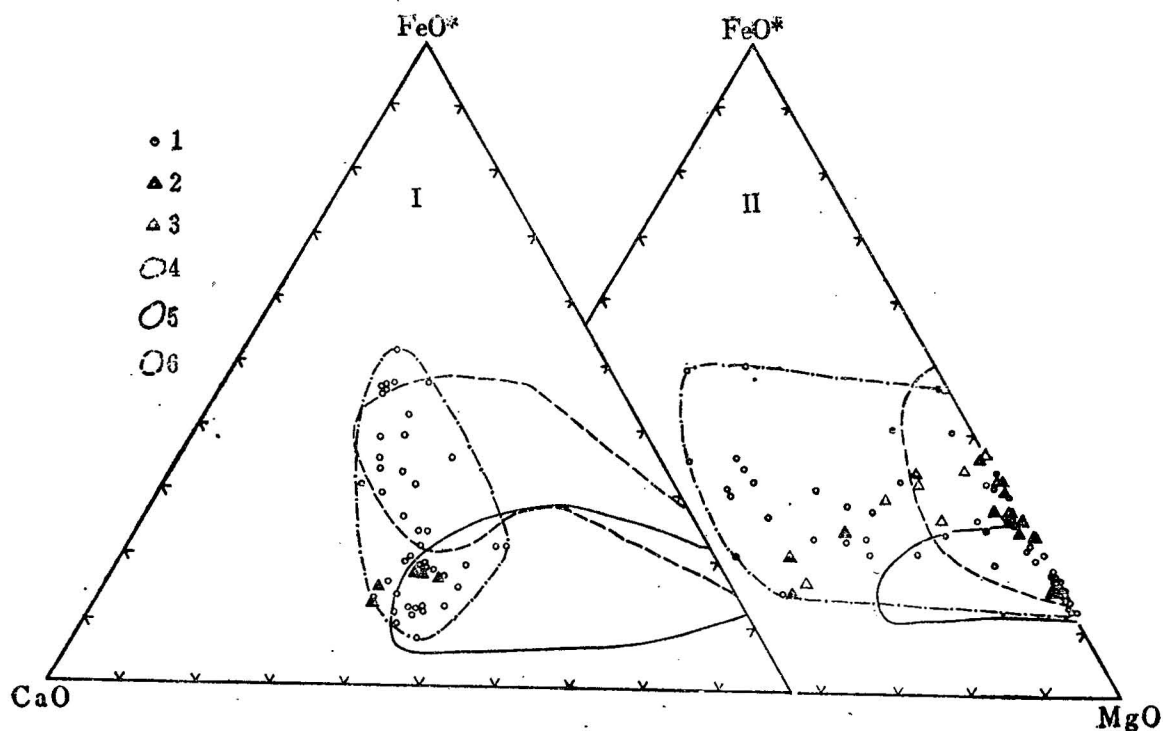
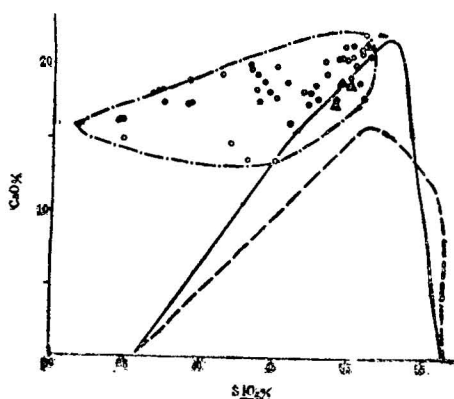


图 1 辉石岩 (I) 和橄榄岩 (II) 的 CaO-FeO*-MgO 图

Fig. 1 CaO-FeO*-MgO diagrams of pyroxenites(I) and peridotites(II)

1—阿拉斯加型; 2—吉盆岩体; 3—半坡岩体; 4—阿拉斯加型分布区; 5—蛇绿岩分布区; 6—层状侵入体分布区
 1—Alaskan-type; 2—Jicha body; 3—Banpo body; 4—Alaskan field; 5—Ophiolitic field; 6—Layered field

图 2 辉石岩的 CaO-SiO₂ 图Fig. 2 CaO-SiO₂ diagram of pyroxenites

图例同图 1 (Symbols as Fig. 1)

它具有与蛇绿岩和层状侵入体不同的初始岩浆成分。早先的研究认为存在超镁铁质岩浆⁽¹⁾, 目前, 持这种看法的人大概没有了。T. N. Irvine⁽¹⁴⁾ 认为阿拉斯加型岩体的初始岩浆是橄榄玄武质的, C. G. Murray⁽¹⁵⁾ 推

测是安山玄武质的, O. B. James 和 J. E. Snoke 等⁽¹³⁻¹⁶⁾ 则认为可能是苦橄质成分的。根据前面所述阿拉斯加型超镁铁岩的化学特征, 推测其初始岩浆应当是适度富镁和相当富钙的, 而硅的活动性相当低, 可能还含有少量的水 (因辉石岩中有少量角闪石出现), 看来, 一种苦橄质成分的岩浆可能适于作为阿拉斯加型岩体的初始岩浆。因此, 作者赞同 O. B. James 和 J. E. Snoke 等的观点。从图 3 中看出, 阿拉斯加型大多投在碱性拉斑玄武岩区, 蛇绿岩限于拉斑玄武岩区, 而层状侵入体则跨橄榄拉斑玄武岩区和石英拉斑玄武岩区。这种分布规律除了暗示它们来自不同的初始岩浆外, 还可能与岩浆的分异作用及混染作用有关。

4. 玄武岩的实验研究指出, 在低压下, 随着橄榄石晶出后, 斜长石先于单斜辉石晶出^(19,20), 出现的矿物组合是橄榄石+斜长石 (橄长岩), 相当于大洋中脊环境。J. Longhi 推断⁽²¹⁾, 来源于地幔的初始熔体, 在小于 0.5 GPa 压力下分馏时, 富钙的单斜辉石比贫钙的斜方辉石先结晶, 这正符合阿拉斯加型的结晶顺序。阿拉斯加型的分离结晶作用还需要有较高的水压, 因为在辉石岩中有角闪石出现。而且, 高的

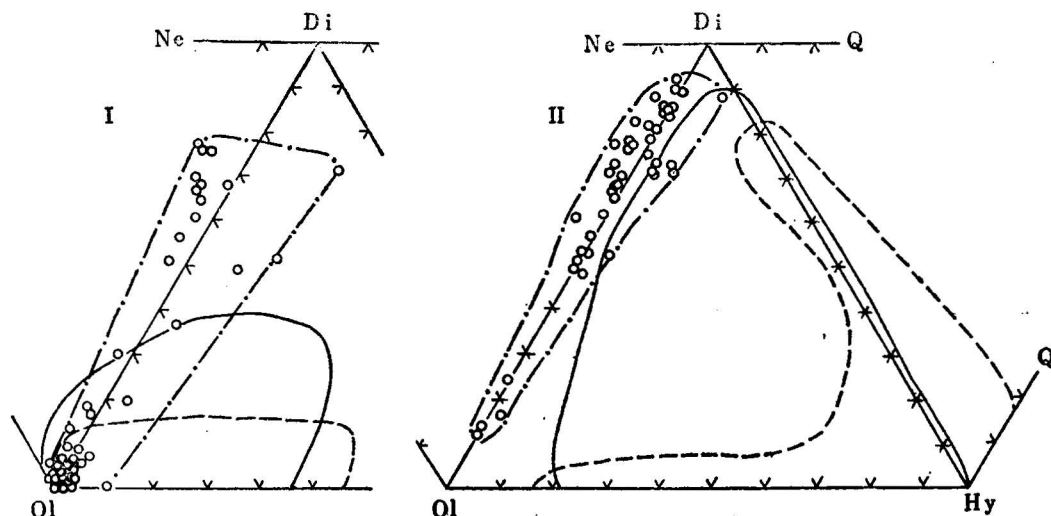


图 3 橄榄岩 (I) 和辉石岩 (II) 的标准矿物 Ne-Di-Ol-Hy-Q 图

Fig. 3 Normalized Ne-Di-Ol-Hy-Q diagrams of peridotites (I) and pyroxenites (II)

图例同图1和表1 (Symbols as Fig. 1 and Table 1).

PH_{20} 将有效地阻止斜长石的晶出⁽²²⁾, 使 CaO 不能与 Al_2O_3 结合成斜长石, 而优先与 MgO 形成透辉石。前面已提到, 阿拉斯加型岩浆是在高氧逸度下结晶分离的, 这就使岩浆中心的 Fe^{2+} 组分转变为 Fe^{3+} , 不利于 FeO 与 MgO 和 SiO_2 一起结合生成贫 CaO 的斜方辉石, 而主要以磁铁矿形式晶出, 并分散在整个岩浆结晶反应系列中, 从而形成富铁质的堆晶岩。而岩浆中的 SiO_2 却并未消耗掉, 使残留的熔体中 SiO_2 愈来愈富集, 从而遵循钙碱性岩浆的演化趋势。C. G. murray⁽¹⁵⁾ 认为阿拉斯加型岩体在空间上与分异晚期的安山-玄武岩伴生, 就是反映了高氧逸度条件下玄武质岩浆的结晶分异作用⁽¹⁵⁾。

至于混染作用有多大的影响, 笔者还没有仔细地研究。有一种见解, 认为阿拉斯加型、蛇绿岩及层状侵入体成分上的不同, 反映了各自所处的地幔源岩成分上的差异; 相反的意见认为, 不需要考虑幔源岩石之间的差别, 三种超镁铁岩的区别是由于地壳物质混染程度的不同所造成的⁽²³⁾。层状侵入体产于稳定的地台区, 陆壳厚度巨大, 可能受混染作用的影响最大; 阿拉斯加型位于板块俯冲带之上的岛弧或活动大陆边缘环境, 属于过渡壳性质, 受混染的程度低于前者; 而蛇绿岩则处于洋壳中, 只是侵位时才与陆壳接触, 而在侵位之前超镁铁堆晶岩早已固结了, 因而可以不考虑混染作用的影响。混染作用最显著的特征是带入了围岩的富硅和碱 (主要是钾) 组分。对于层状侵入体来说, 这一点是显而易见的。与阿拉斯加型相比, 层状侵入体富 SiO_2 , K_2O 以及标准矿物钾长石和

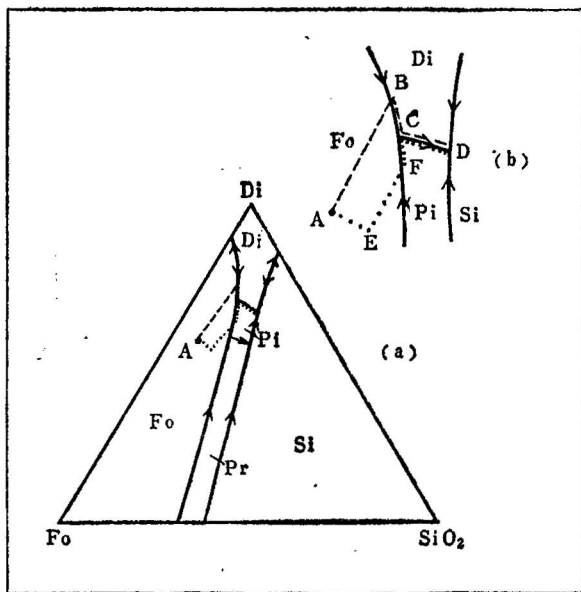


图 4 透辉石-镁橄榄石-二氧化硅体系的平衡相图

(据 I. H. Campbell⁽²³⁾)

Fig. 4 Equilibrium phase diagram of the system diopside-forsterite-silica

图中点 A 代表幔源熔体, 虚线代表分离结晶作用的途径, 而混有 SiO_2 熔体的分离结晶作用则沿点线进行; (b) 是 (a) 图中一部分的放大。幔源液体沿 ABCD 路线进行, 混染有 SiO_2 的液体沿 AEFCD 路线进行; Fo—镁橄榄石; Di—透辉石; Pi—易变辉石; Pr—原顽火辉石; Si—二氧化硅。

紫苏辉石(表1)。这种解释假定阿拉斯加型与层状侵入体的初始岩浆原来是比较接近的,只是在上升到地表的过程中,由于层状侵入体的初始岩浆同化了大量的(富Si成分的)陆壳物质,才使二者的成分有了明显的差别。这可以用橄榄石-透辉石-SiO₂的平衡相图来解释(图4)。图4中单纯的分离结晶作用导致的结晶顺序是橄榄石→单斜辉石,相当于阿拉斯加型。混染作用的结果将使SiO₂导入岩浆,这样斜方辉石就早于单斜辉石结晶,属于层状侵入体的结晶顺序。但是,阿拉斯加型的初始岩浆也穿过较厚的陆壳,为什么混染作用不明显呢?这可以用C. G. Murray^[15]的流动分异模式来解释,在C. G. Murray的模式中,早结晶的矿物(如橄榄石和单斜辉石)向岩浆管道的中心集中,脱离开围岩的影响。因此,阿拉斯加型岩体如果有混染作用的话,则可能以生成较晚的基性成分的岩石较明显。

三、结 论

综上所述,阿拉斯加型超镁铁岩具有不同于蛇绿岩及层状侵入体的独特的化学成分,其中尤以辉石岩表现突出,与上述两类辉石岩相比,阿拉斯加型以显著贫硅、镁及富钙、钛和略富铁为特征(表1)。它们之间的差异可能与初始岩浆成分、分离结晶过程以及混染程度的不同有关。当然,影响的因素可能远非如此简单。它们之间的差别绝非偶然,因为它们处于不同的构造环境:蛇绿岩产于洋盆内的大洋中脊、弧后盆地及岛弧环境,代表洋壳和地幔的组合,处于拉张环境;层状侵入体位于地台区,与大陆拉斑玄武岩有成因上的联系;而阿拉斯加型则处于火山弧环境,属于过渡壳单元,为岛弧岩浆活动的一部分,这就制约了岩石的起源和演化。因此,仔细考虑这三类岩石化学成分之间的异同,不仅有重要的理论意义,而且对深入理解阿拉斯加型岩体的特征及其成因也会有所启发。

参 考 文 献

- [1] Taylor, H. P. Jr., 1967, The zoned ultramafic complexes of southeastern Alaska. in: Ultramafic and related rocks (Wyllie, P. J. ed.). John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 97—121.
- [2] Irvine, T. N., 1967, The Duke Island ultramafic complex, southeastern Alaska. in: Ultramafic and related rocks (Wyllie, P. J. ed.). John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 84—97.
- [3] Irvine, T. N., 1974, Petrology of the Island ultramafic complex, southeast Alaska. *Geol. Soc. Am., Mem.*, No. 138, 240p.
- [4] 张旗、李达周、张魁武、伊丽莹和王德恭, 1986, 云南景谷县半坡镁铁质和超镁铁质堆晶岩——一个可能的阿拉斯加型岩体。青藏高原研究, 横断山考察专集, 北京科学技术出版社, 2, 第125—136页。
- [5] Jackson, E. D. and Thayer, T. P., 1972, Some criteria for distinguishing between stratiform, concentric and alpine peridotite-gabbro complexes. 24th Intern. Geol. Cong. Montreal, Sect. 2, pp. 289—296.
- [6] 王恒升、白文吉, 1975, 基性岩和超基性岩岩石化学计算和图解方法。地质学报, 第1期, 第77—90页。
- [7] 吴利仁, 1963, 论中国基性、超基性岩成矿属性。地质科学, 第1期, 第29—41页。
- [8] 张雯华、丛柏林, 1976, 一个简单的基性-超基性岩岩石化学研究方法。科学通报, 第21卷, 第4期, 第179—183页。
- [9] Irvine, T. N., 1970, Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusion. *Geol. Soc. S. Afr., Spec. Publ.*, No. 1, pp. 441—476.
- [10] Church, W. R. and Riccio, L., 1977, Fractionation trends in the Bay of Island ophiolite of Newfoundland: polycyclic cumulate sequences in ophiolite and their classification. *Can. J. Earth Sci.*, Vol. 14, No. 5, pp. 1156—1165.
- [11] Pearce, J. A., Lippard, S. J. and Roberts, S., 1984, Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolite. in: Marginal basin geology. *Geol. Soc. by Blackwell Sci. publ.*, 16, pp. 74—94.
- [12] Findlay, D. C., 1969, Origin of the Tulameen ultramafic-gabbro complex, southern British Columbia. *Can. J. Earth Sci.*, Vol. 6, No. 3, pp. 399—425.
- [13] Jaques, A. L. and Chappell, B. W., 1980, Petrology and trace element geochemistry of the Papua ultramafic belt. *Contr. Mineral. Petrol.*, Vol. 75, No. 1, pp. 55—70.
- [14] Irvine, T. N., 1973, Bridger Cove volcanics, Juneau area, Alaska: Possible parental magma of Alaskan-type ultramafic complexes. *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, No. 72, pp. 478—490.
- [15] Murray, C. G., 1972, Zoned ultramafic complexes of the Alaska type: Feeder pipes of andesitic volcanoes. *Geol. Soc. Am., Mem.*, No. 132,

- pp. 313—333.
- [16] James, O. B., 1971, Origin and emplacement of the ultramafic rocks of the Emigrant Gap area, California. *J. Petrol.*, Vol. 12, No. 3, pp. 523—560.
- [17] Snoke, J. E., Quick, J. E. & Bowman, H. R., 1981, Bear Mountain igneous complex, Klamath Mountains, California: an ultrabasic to silicic cali-alkaline suite. *J. Petrol.*, Vol. 22, No. 4, pp. 501—552.
- [18] Snoke, J. E., Sharp, W. D., Wright, J. E. and Saleeby, J. B., 1982, Significance of mid-Mesozoic peridotitic of dioritic intrusive complexes, Klamath Mountains, Western Sierra Nevada, California. *Geology*, Vol. 10, No. 3, pp. 160—166.
- [19] Green, D. H., Hibberson, W. O. and Jaques, A. L., 1979, Petrogenesis of mid-ocean ridge basalts. in: *The Earth: Its origin, structure and evolution*. Academic Press. London, pp. 265—295.
- [20] Pailister, J. S., 1984, Parent magma of the Samail ophiolite, Oman. in: *Ophiolites and oceanic lithosphere*. Blackwell Sci. Publ. Oxford, London, 13, pp. 63—70.
- [21] Longhi, J., 1981, Multicomponent phase diagrams and the phase equilibria of basalts. in: *Workshop on Magmatic Processes of Early Planetary Cryst LPI Technical Report Number 82—01*, 90—94.
- [22] Ramsay, W. R. H., Crawford, A. J. and Foden, J. D., 1984, Field setting, mineralogy, chemistry, and genesis of arc picrites, New Georgia, Solomon Islands. *Contr. Mineral. Petrol.*, Vol. 88, No. 4, pp. 386—402.
- [23] Campbell, I. H., 1985, The difference between oceanic and continental tholeiites: a fluid dynamic explanation. *Contr. Mineral. Petrol.*, Vol. 91, No. 1, pp. 37—43.