

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

侵入体之间的“隐秘侵入接触”及其研究方法

傅 德 彬

(吉林省地质科学研究所)

岩浆岩体侵入期、次的确定,是研究侵入体与岩浆作用的重要内容之一,它取决于对接触关系的研究。

如所周知,岩浆岩体的接触关系分为侵入接触(intrusive contact)、过渡接触(transitional contact)及断层接触(fault contact)等。侵入接触关系有明显与非明显之分。明显的侵入接触关系研究颇多,通常根据岩体的穿插(或切割)关系,接触变质现象,冷却边的存在,原生流动构造的产状以及捕虏体的分布等加以确定;非明显侵入接触关系研究甚少,尤其当相接触的两种岩性特征相近时,往往由于不能揭露侵入接触关系的存在,而把实质上的复式岩体误认为单式岩体,从而影响了对于岩浆成岩成矿作用本质的认识。

鉴于岩浆岩体侵入期、次的确定不仅对岩浆作用过程、演化规律和岩体形成机理,而且对研究岩浆矿床成因,评价岩体含矿性以及指导地质普查找矿工作,均具重要的理论与实际意义。本文将作者近年来在研究非明显侵入接触关系中发现的“隐秘侵入接触”(crypto-intrusion contact)及其研究方法论述如下,尚有不妥,请读者惠于指正。

隐秘侵入接触

据载,一个侵入体凝固的时间,往往需要十几万年(В. Н. Котляр, 1966)^[1],几百万年(张德全, 1978^[1]; В. И. Смирнов, 1976^[2]),甚至几十万年(Н. В. Петровская 1982)^[3]。在如此漫长的凝固时间里,当同构造期岩浆活动犹如地震与火山喷发那样频繁的情况下,所形成的岩体理当是岩浆多期、次活动的结果,这是一个带有普遍性的规律。因为事实一再表明,在侵入体广泛发育的地区,侵入体,尤其较大

者,通常是多期、次岩浆活动的产物^[4]。例如,北京房山岩体是一个一期二次岩浆侵入形成的复式岩体,尤有甚者,在一个侵入体内,其侵入期、次竟达五、六个之多,如燕山西段南口花岗岩杂岩体,系由六个侵入期构成的;再者,江西西华山花岗岩杂岩体是由三期六次侵入作用形成的等等,诸如此类不胜枚举。特别重要的是。一些内生金属矿产,如基性-超基性岩体内的硫化铜镍矿床,铬铁矿床与钽铌磁铁矿床等,往往与某一特定期、次岩体或侵入相有关。所以,岩浆岩体侵入期、次的正确鉴别,除了可以回溯构造-岩浆活动史外,尚直接关系到地质普查找矿问题,至关重要。

然而,迄今为止,岩浆岩体侵入的期与次,尚无统一、严谨的定义,更无明确的区分标志和一致的划分原则。作者研究认为,若在一较大区域中,一次构造运动形成的岩带内,相同或不同成份的岩浆,先后于不同的时期,在不同的或类似的机理条件下,侵入于异地或同地而形成的侵入体的组合,称为多期侵入体或杂岩体;各侵入期之间具明显的穿插关系,或在较晚期侵入体中有冷却边,或在晚期侵入体内有早期岩体的捕虏体等。若在一个岩区内,同一期岩浆活动中不同次岩浆脉动活动叠加于同一空间(岩浆房)内形成的侵入体,当称之为多次侵入体或复式岩体。这时,岩浆每活动一回为一个“次”,“次”之间的时间间隔较短,故常常是后次岩浆侵入前次正在凝固或尚未完全凝固的岩体中,构成热接触,因而不存在冷接

1) 张德全, 1978, 关于热变质温度、岩浆温度、岩体冷凝时间的计算问题。地质科技, 第5期。

本文1984年11月收到。1985年4月改回,罗正华 编辑。

触中出现的那些固有的、明显的侵入接触标志。在大多数场合下,这种热侵入接触的穿插关系不清楚,形成所谓的“隐秘侵入接触”^[5]。

后次岩浆侵入前次正在凝固或尚未完全凝固的岩体中,由于二者在组份与温度等方面的差异性,它们将出现岩浆混合或不混合两种情况,据此,可把隐秘侵入接触相应的分为“混溶隐秘侵入接触”与“不混溶隐秘侵入接触”两个类型。

所谓“不混溶隐秘侵入接触”,作者定义为“两种(或两种以上)组份与温度不同的岩浆,伴随同一期构造运动,在同一侵入期内,受区域应力驱动,先后侵入于同一空间,在液态分溶状态下凝固成岩而形成的隐蔽的侵入接触关系”。这种侵入接触关系,尽管难以用肉眼直接观察鉴别(因常常看不出岩相变化,找不到直接接触关系),可是相接触的两岩相在本质上是不同的。换言之,相接触的两岩体在形成机理、化学成份、矿物成份,乃至矿物的一系列特征——成份、有序度、晶胞常数,热力学参数以及有关同位素比值与元素占位机率等方面均有差别,因此经过详细工作是可以鉴别的。

如果先后侵入于同一空间的岩浆之间发生了岩浆混合作用,即在两种成份不同的岩浆接触带上产生了部份混溶,形成了岩浆混染岩带,使两个岩体通过该混染岩带呈现过渡的侵入接触关系,作者称其为“混溶隐秘侵入接触”。这种混溶隐秘侵入接触关系,既不同于不混溶隐秘侵入接触,又不同于由同化-混染作用、交代作用以及花岗岩化作用等形成的过渡接触关系。它除了具有不混溶隐秘侵入接触那些特点外,在染混岩带中的造岩矿物之间广泛发育着不平衡现象:

(1) 同种矿物成份变化较大,尤其同一类质同象系列矿物。如在有岩浆混合作用的赤柏松含镍岩体中斜长石的An为58—77;墨西哥Pico de Orizaba混合火山岩中的斜长石An变化在25—75之间(Cantagrel, 1983)^[1],而且斜长石与辉石晶体均具复杂的反环带构造;苏联哈萨克斯坦的石英斑岩与玄武岩岩浆混合形成的辉石(И. Я. Яценко, Н. В. Моторина, 1981)及亚美尼亚由两种岩浆混合形成的方钠正长斑岩(В. С. Соколев, 1980)中的辉石的含铁性与含镁性均有较大变化^[6]。这些变化是岩浆混合的有力证据。因为,同一固溶体系列的两种矿物不能由同一岩浆同时结晶生成。

(2) 鲍温(N. L. Bowen, 1922)反应系列下部的矿物被上部的矿物包裹,结晶顺序紊乱。据I. L. Gibson (1963)报导,斯凯(Скай)岛含铁质闪长岩熔浆与酸性熔浆混合所形成的花岗辉长混染岩中,斜

长石与石英被辉石包裹^[7]。

(3) 岩浆早期结晶的斑晶中有不同成份的熔浆包体。岩浆混合时结晶的晶体中的包体成份具过渡性特点。

(4) 岩体中存在岩浆反应形成的矿物。以及后期岩浆与早期岩浆结晶的矿物间形成反应边和反环带构造等。如红旗岭,赤柏松等含镍基-超基性岩体中广泛发育有橄榄石的反应边等。

(5) 不相容矿物(如石英与橄榄石)的共生。

现以著名的甘肃白家咀子含镍超基性岩体为例,把隐秘侵入接触的存在及特征综述如下,以作例证。

白家咀子岩体是一个由中细粒、中粗粒与中粒三次侵入的超基性岩相构成的复式岩体。据甘肃地矿局第六地质队的研究^[2],中粒与中粗粒侵入相之间为截然分明的侵入接触关系。中粗粒与中粒之间的接触关系有两种情况;其一,在二矿区一号矿体西部,二者间界线截然分明,且在中粗粒岩石一侧,岩石发生了强烈蚀变,中粒岩石的形态受中粒岩石原生节理的控制(一矿区);其二,在二矿区东部中粗粒与中粒岩石间呈特殊的过渡关系。二者间不是以矿物量或粒度,而是以两种岩石量比的变化从一种岩石逐渐过渡为另一种岩(即从以中粒的绿黑色海绵陨铁状纯橄榄岩为主,逐渐过渡为以中粗粒的不含或含极少硫化物的灰绿色二辉橄榄岩-橄榄二辉岩为主),量少的在量多的岩石中呈“团块状”。由于两种岩石成份不同,使过渡岩石表面呈现花花斑斑的“牛皮癣状”,矿物分布不均匀,粒度等结构变化较大,两种粒度的岩石中的矿物相接触形成随团块边缘而弯曲的清晰界线。上述事实表明,在形成中粗粒岩石的岩浆尚未完全凝固时,形成中粒岩石的岩浆又侵入上来并与之混合。二者在中粗粒岩石已凝固部位(二矿区一号矿体西部)侵入界线清楚,而在二者发生混合部位(二矿区东部)呈过渡的隐秘侵入接触关系。

应当指出,在岩浆岩石学领域内,不少人偏狭地注意了结晶分异与熔离等岩浆的分离问题。而对在成岩成矿过程中与其同等重要的岩浆混合作用这一课题却未引起应有的重视,国内外对岩浆的混合问题均处于探索阶段,一系列有关问题有待我们去探索、发现和研究解决。

二、研究方法

随着时间、空间条件的演变。不同次侵入的岩浆在

1) 吴利仁, 1984, 1983年IUGG 18届全体大会“火山学及地球内部化学”学术会议内容介绍。国外地质, 第6期。

化学成份，温度梯度及具体成岩机理诸方面必然存在着差异。这些差异在岩浆成岩过程中，主要以隐秘方式记录在岩石结构构造，化学成份，尤其矿物成份及原子、甚至电子层构造等方面，形成不同层次的成因信息。为了确定侵入体间的隐秘侵入接触关系，必须在野外观察研究基础上，运用各种当代测试手段，揭示隐藏在各层次信息源中的隐秘成因信息。为此，兹将常用的研究方法简介如下。

1. 地质观察研究方法

该方法主要有两项任务：一是在接触关系不清晰的情况下，以肉眼洞察接触带两侧不同次岩体间的差别。重点是粒度的变化，矿物成份的差异，捕虏体的分布，矿化种类与强度的区别，岩石颜色、结构构造的不同等方面。然后，初步确定所研究岩相是结晶分异相变产物抑或侵入关系，如系后者，则进一步分析是隐秘侵入接触还是过渡接触。第二项任务即是在野外观察基础上，系统采集各种测试样品，进行微观观察与测试，以揭示隐秘成因信息。

我们在观察研究长白山区的一些基性-超基性岩侵入体的岩相接触关系时，常常在两个侵入岩相之间发现有宽或窄，或规则或不规则的岩浆混合“过渡带”。其主要特点是岩相特点不稳定，造岩矿物成份及其粒度不均匀且变化大，矿化相对较富，具不混溶分凝造成的斑杂构造。进一步深入研究证实该“过渡带”是由辉长岩与橄榄岩两种岩浆混合形成的岩浆混染岩带，并非结晶分异成的过渡接触关系。

2. 矿物-岩石学研究法

矿物-岩石学研究法包括多方面的内容，这里主要是研究矿物共生组合，测定矿铁的粒度、含量、光学常数，以及矿子 (minal)¹⁾ An, Ab, Or, Fo, Fa, En, Di, Wo 等，观察矿物间的不平衡现象，确定造岩矿物的结晶顺序，以及用X光衍射、红外吸收光谱与穆兹堡尔谱等手段测定矿物的有序度，晶胞常数和某些元素的价态及在矿物晶体中的占位几率等。这些数据都是矿物、岩石的成因信息，比如度量矿物晶体中阳离子有序-无序分布特征的有序度，因为它是矿物所在地质体的温度 (T)，压力 (P)，结晶时间 (t) ……等热力学参数的复合函数^[2]，故可用来反映矿物形成时的地质温度、压力，岩浆结晶速率及冷凝时间长短等热力学因素，这时判别岩浆岩体的侵入期、次是有很有效的，只要测定的样品是包括相接触的几个岩相的系统采样，那么，测得的上述数据将出现两种情况：一是数据及其图示呈不连续的突变，一是呈连续

的渐变。如果能排除岩浆分液熔离、同化混染和交代作用的存在，那么，前者多半为岩浆不同期、次侵入的特点，后者则是岩浆连续结晶分异相变的特点、作者^[3]对一个前人曾结论为从上到下由辉长岩、辉石橄榄岩与橄榄辉石岩三个就地结晶分异岩相构成的含镍基性-超基性单式岩体，通过野外观察，根据辉石橄榄岩中有辉长岩的捕虏体，辉长岩遭受强烈蚀变等，确定辉长岩相是单独一次侵入的，而在辉石橄榄岩与橄榄辉石岩相之间找不到接触关系，根据二岩相的上下位置与正常结晶分异序列相反和二者间有时具不清楚的界面的现象，同时对矿物含量、粒度，橄榄石与斜长石的牌号 (Fo 与 An 的克分子%) 进行了测定，结果 (图 1) 表明，该岩体是由三个侵入岩相构成的复式岩体，其中辉石橄榄岩与橄榄辉石岩相间为“隐秘侵入接触”关系^[3]。这一结论已在1984年被工程揭露所证实。

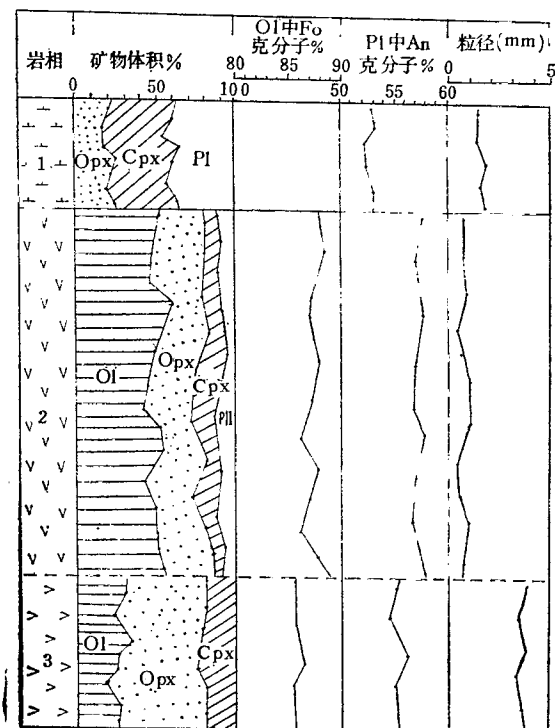


图 1 吉林E基性-超基性含镍岩体不同岩相的矿物含量、粒度及橄榄石与斜长石牌号变化图
1—辉长岩；2—辉石橄榄岩；3—橄榄辉石岩；
Ol—橄榄石；Opx—斜方辉石；Cpx—单斜辉石；
Pl—斜长石

1) 矿子 (minal) 指类质同象矿物的端元组份，可以是自然界中能见到独立矿物，如 Mg_2SiO_4 (镍橄榄石)，也可以是自然界见不到的，如 Ni_2SiO_4 。在文献中常译作“分子”，如 An 是斜长石中的钙长石分子等。

3. 岩石化学研究法

归纳起来,用于岩体接触关系研究的岩石化学方法有岩石化学指数及其图示,元素或氧化物的变异图,经典的岩石化学计算法与岩石化学成因信息法等四类。

(1) 变异图法 即运用各种元素或氧化物含量(重量%)对适当变数的做图法。该方法除了探索岩石成因联系外,实践表明对研究岩浆侵入期、次亦颇奏效。通常是各种氧化物重量百分含量对距离(如沿纵,横剖面或钻孔等)作图,或是一种氧化物作为

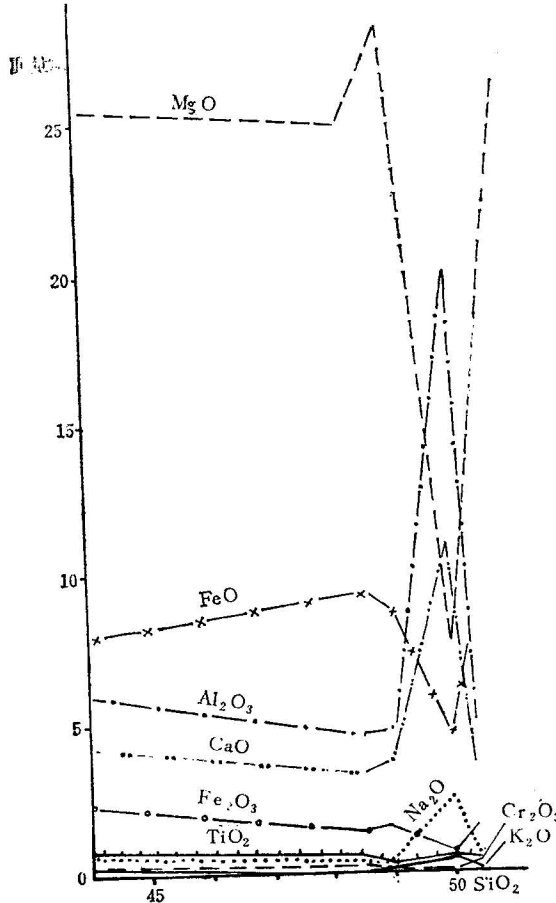


图 2 吉林 H 含镍基-超基性岩体不同次岩相成份变异图

其它氧化物的相对座标(如 SiO₂重量%作为独立变数等)作图。例如, A.Harker 变异图即其一例。近年来也有用某岩石化学指数(如固结指数 SI 等)作独立变数的,用 SI 作独立变数座标更能反映基性或超基性岩浆化学成份的变化。此外, AFM 三角变异图亦常为人

们所引用。无论何种变异图,变异曲线如为圆滑的,即连续渐变趋势的是岩浆结晶分异相变特征^[4],若为急剧突变(图2)多半是不同期次侵入的显示,尤其当一个岩体的图点位于 SiO₂ < 49% 的右侧,另一个岩体的投点位于 SiO₂ > 49% 的右侧时,更能说明不同次的特点。

为了便于读者应用,现把常用的变异图的独立变数与从属变数列于表 1,以供参考。

(2) 岩石化学指数法 目前,用于岩石化学研究的指数有三、四十个之多,可以根据研究对象灵活选用。作为研究侵入体间的接触关系的常用的岩石

表 1

独立变数	从属变数
距离	氧化物(重量%)
岩石系统剖面	氧化物(重量%)
SiO ₂ (重量%)	其它氧化物(重量%)
$\frac{SiO_2}{3} + K_2O - (FeO + Fe_2O_3 + CaO)$	其它氧化物(重量%)
$\frac{Si}{3} + K - (Ca + Mg)$	其它原子数百分数
Al/Si	Mg 等(原子数%)
颜色指数	氧化物(重量%)
分异指数(DI)	氧化物(重量%)
固结指数(SI)	氧化物(重量%)

化学指数有:(i) 氧化指数(OX'),属于同一岩浆分异系列的岩石,OX'的平均值向更酸性分异方向逐渐增加,如OX'值变化不连续,或为突变,则为不同次侵入岩浆的特点。(ii) 分异指数(DI)的应用效果也较好。不同次侵入的岩石分异指数不同。(iii) 固结指数(SI)可用以确定岩石是否结晶分异的。SI < 40 时,一般为结晶分异岩石特征。此外,诸如基性度指数(j),酸度系数(α)等均可选作研究岩体之间的接触关系。

(3) 经典的岩石化学计算与图示法 如 A.H. Забарцкий 法^[20]、王恒升、白文占法(1975)^[11]等。鉴于这些方法的原理,计算步骤等早已为人们所熟知,恕不赘述,但应指出,不论用哪种方法,如算得的数值在图示上的点连线是不连续的而有间断,或投影点的分布显示有局限于几个孤立区内的趋势,这一般是侵入接触关系的指示,如数值连续或投影点连线呈光滑的曲线,则通常是结晶相变的特点;例如赤柏松含镍-超基性岩体的三个主体岩相,经野外观察辉绿辉长岩变质程度较深,橄榄苏长辉长岩与斜长二辉橄榄岩间有混合过渡带,为隐密侵入接触关系。它

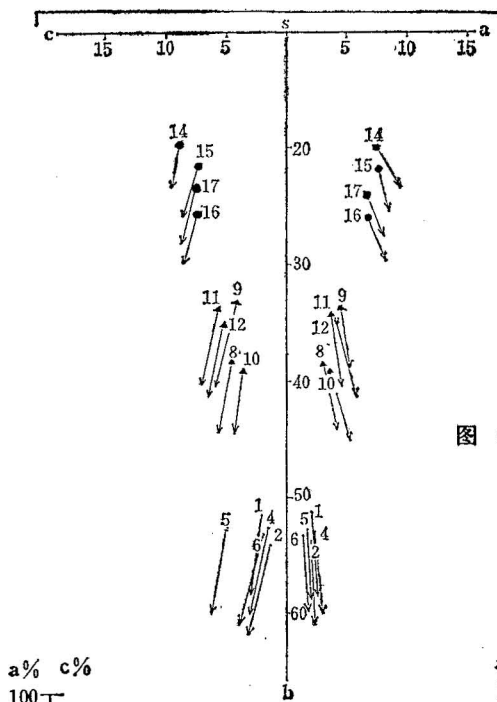


图 3 吉林 C 基-超碱性复式岩体查氏图解

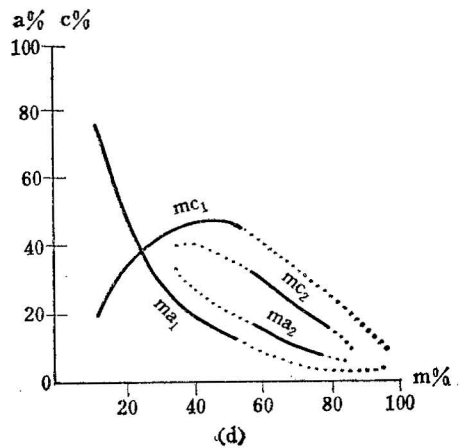
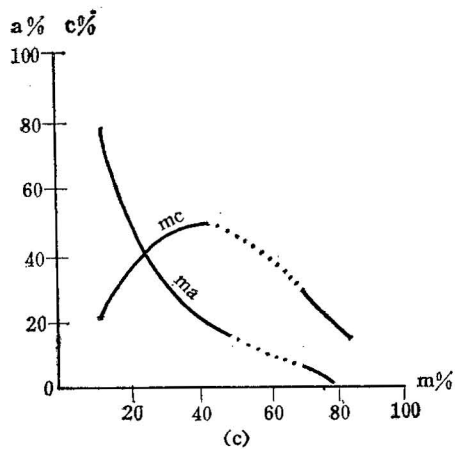
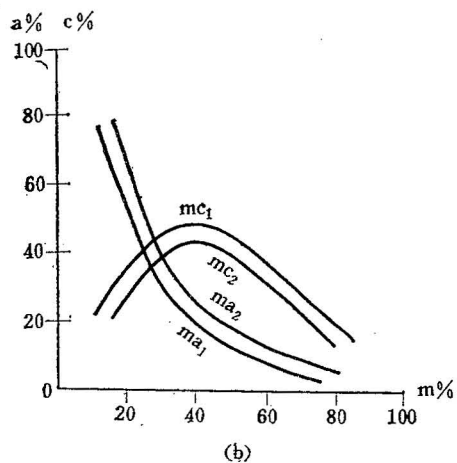
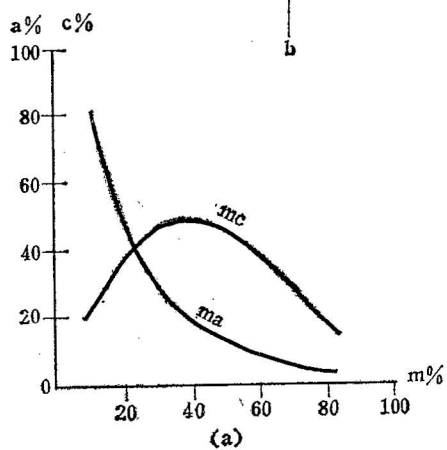


图 4 常量标型组份参数函数曲线图象^[12]

们在查氏图上(图3)分别分布在三个互不联系的孤立区内。

(4) 岩石化学成因信息法^[12-13] 用岩石化学成因信息法研究隐秘侵入接触关系,也可收到较好的效果。一般常量型组份参数函数图象有四种情况:一是投影点连续呈光滑的单对曲线(图4, a),它表示同一成因系列岩浆一次侵入结晶分异的演化特点;另一种是呈双对连续光滑曲线(图4, b),表示所研究的岩体属两个成因系列或两期岩浆侵入产物,且每期都有连续结晶演化特点;第三种是在同一斜率上间断的单对曲线(图4, c),只要所采样品有充分代表性,则这种间断表明岩体是同期不同次侵入的岩浆形成的复式岩体;最后一种是阶梯式间断或存在两对不连续的曲线(图4, d),这种图象意味着岩体系由两期或两个成因系列的岩浆活动形成的(请参阅文献[12], [13])。

4. 地球化学法

研究两种岩相接触关系的地球化学方法,旨在查明相接触的两种岩体的地球化学特点,以便通过比较而达到鉴别的目的。

如上所述,若取得的一系列地球化学数值或其图示为连续渐变趋势,则多半是岩浆连续结晶分异特点,相反,若为间断或突变,则多为不同期次的侵入关系。一般行之有效的常用方法有:

(1) 痕量元素丰度法 如众所知,痕量元素在岩浆早期或晚期产物中的丰度取决于其分配系数(λ)。

$$\lambda = C^f / C^i$$

研究表明, λ 值受 ΔH , T , ΔS 的影响,而且是 T , P 的函数,因此,痕量元素在不同岩石中丰度的变化,即可反映其形成的物理、化学环境。此即为利用岩石中的痕量元素的丰度比较、判别岩石接触关系的理论基础。

(2) 稀土元素(REE)配分型式法 犹如痕量元素及同位素一样,岩浆的不同演化途径,不同的分馏作用,造成岩体中REE丰度的不同;不同岩体的岩石中HREE和LREE的含量(经陨石标准化)及其配分型式不同,以此可以区分两种或数种岩体(相)间的接触关系的性质。

(3) 对偶元素与同位素比值法 即用 K/Rb , Ca/Sr , $^{87}Sr/^{86}Sr$, $^{34}S/^{32}S$, $^{18}O/^{16}O$ ……等的比值来区分和鉴别岩体间的接触关系。往往同一比值在两种岩体中相同或相近,它们应是同期、次的产物,否则相反。

(4) 同位素年代学法 所研究的两个(或数个)岩体的同位素年龄相同或相近,一般它们是同期

次岩浆活动产物,如相差甚远,则为不同期次形成的。诚然,应当多种同位素年代学法并结合野外地质情况进行合理解释,这是行之有效的方法之一,但是,考虑到岩体凝固时间延续很长,加以测定尚有误差,故单凭年龄数据做出是否为隐秘侵入接触的结论,难以令人信服,尚需结合其它方法综合研究确定。

5. 热力学方法

这一方法主要是在有关测试数据的基础上,通过热力学计算,用所获得的岩体热变质温度,岩浆侵入时的温度,岩浆冷凝时间以及岩体中矿物结晶的温度、压力……等热力学数据,配合其它方法来区分岩体接触关系,鉴别隐秘侵入接触。

鉴于这只是一个辅助方法,当前仅限于估算,精度不高,用来研究隐秘侵入接触的有效程度尚有很大争论,加之具体计算方法(如地质温度计、压力计等)广见于近年出版的大量中外地质文献^[14-15,16],故笔者不拟于此详述。

应当指出,在上述方法中,地质观察研究法是基础,矿物-岩石学方法、岩石化学与地球化学方法是主要的,而热力学方法只是一种辅助方法,在实际工作中,应以多种方法配合使用为宜,因为面对错综复杂的具体研究对象,事先很难说出究竟哪种方法是最有效的,更何况每一种方法本身都有其一定的有效适用范围。此外,所述方法既然能研究隐秘侵入接触,想必,对一般明显的侵入接触关系更为适用。

最后,作者向在研究“隐秘侵入接触”过程中给予很多具体指导和启迪的王恒升导师与苏良慈教授表示由衷的感谢。

参 考 文 献

- [1] Подфоров, Л. В., 1979, Геология, геохимия и генезис месторождений медно-никелевых сульфидных руд. Ленинград «НЕДРА».
- [2] Смирнов, В. И., 1976, Геология полезных ископаемых издание третья пореработанное и дополненное. Москва «НЕДРА».
- [3] Н. В. Петровская, 1982, Природа, №. 11.
- [4] 武汉地质学院, 1980, 岩浆岩石学(上、下册), 地质出版社。
- [5] 傅德彬, 1981, 论含镍基性-超基性岩侵入体的“隐秘侵入接触”及其岩浆成矿问题。中国地质科学院年报, 地质出版社。
- [6] Соболев, В. С., 1981, Записки всесоюзного минералогического общества. вып. 6.
- [7] 甘肃第六地质队, 1984, 白家咀子硫化铜镍矿床

- 地质，地质出版社。
- [8] 徐培苍等，1981，橄榄石有序-无序的测定及其意义。矿物岩石，№3—4。
- [9] 傅德彬，1982，论401矿区一号岩体碳化铜镍矿的成因问题。吉林地质，第4期。
- [10] Заварицкий, А. Н., 1950, Введение в Петрохимию изверженных горных пород. Изд. АН СССР.
- [11] 王恒升、白文吉，1975，基性岩与超基性岩岩石化学计算及图解方法。地质学报，第1期。
- [12] 傅德彬、崔立朝，1984，侵入岩常量标型组份参数的函数图象及其成因信息。地质学报，第58卷，第2期。
- [13] 崔立朝、傅德彬，1984，侵入岩常量标型组份参数函数曲线的拟合方法，吉林地质。第3期。
- [14] Jaeger, J. C., 1959, Temperatures outside a cooling intrusive sheet. Am. J. Sci. Vol. 257, P. 44.
- [15] 北京钢铁学院，1959，物理化学。中国工业出版社。
- [16] 张儒瑗等，1983，矿物温度计和矿物压力计。地质出版社。