

应用岩石化学方法恢复变质岩 原岩类型的一些问题

长春地质学院

贺高品

在变质岩的研究工作中，恢复各种变质岩的原岩性质是研究变质岩系的原岩建造和形成环境、进行地层划分和寻找有关矿床的基础。在国内外研究变质岩原岩性质的工作中，应用岩石化学的方法十分普遍，特别是对那些产状特征不明显和原岩结构已经消失的深变质岩尤为重要。由于编制中国变质图的需要，笔者根据已有资料，对目前国内外常用的三十几种岩石化学方法的特点及其应用情况进行了分析研究，现就有关问题提出一些看法供大家讨论。

一、岩石化学方法存在的主要问题

自五十年代以来，国外在应用岩石化学方法研究变质岩的原岩性质方面有了较大的发展，提出了几十种有关的方法和图解。自七十年代以来，我国在研究变质岩的原岩性质时，对岩石化学方法的应用也愈来愈广泛，有些研究工作较多的变质地区已积累了较多的数据，取得了一些较好的成果和经验。有的对国内外的一些岩石化学方法进行了检验和分析研究，有的还提出了一些新的岩石化学方法和图解。

目前用于研究变质岩原岩性质的岩石化学方法和图解虽然较多，但根据它们所要解决的问题可归纳为如下两大类：

1. 用来恢复各种变质岩的原岩类型，其中有些方法和图解（如函数判别式和尼格里四面体图解等）主要是将变质岩区分为“正变质岩”或“副变质岩”，前者指由火成岩形成的变质岩，后者指由沉积岩形成的变质岩。也有些图解（如西蒙南图解和利克图解等）不是简单的把变质岩的原岩区分为“正”或“副”，而是区分出不同的原岩类型，如沉

积岩中区分出泥质岩、砂质岩、石灰岩、白云岩等，在火山岩中大致区分出中基性和酸性火山岩等。

2. 在初步确定变质岩原岩类型的基础上进一步研究变质岩原岩的成因类型和形成环境。例如，有些图解（如米德尔莫斯特图解、詹森图解和AFM图解等）是在已确定原岩为火山岩的基础上进一步研究火山岩系的成因类型（如拉斑玄武岩系、钙碱性火山岩系、碱性橄榄玄武岩系、细碧角斑岩系等）。有些图解和方法（如涅洛夫图解、硅质模数和碳酸盐模数等）是在已确定原岩为粘土岩的基础上进一步研究粘土岩的形成环境（如陆相、海相、泻湖相、寒带、温带、热带等）。这些研究为了研究变质岩系的原岩建造和形成环境提供了重要的证据。

上述第一类图解是研究变质岩原岩类型的基础，第二类图解主要是利用了研究火山岩和沉积岩的某些图解。本文主要是讨论有关第一类图解的问题，因为目前这方面的图解虽然较多，应用也比较广泛，但无论从理论上或实际应用上都还存在不少有待进一步研究的问题。从目前国内外的应用情况来看，主要存在有二种完全相反的倾向。

一种倾向是只根据某一、二种岩石化学方法便确定变质岩的原岩类型，甚至只简单的确定变质岩的原岩性质为“正变质岩”或“副变质岩”（即火成岩或沉积岩），而没有和岩石的地质产状及变余组构等特征相结合，也没有研究所用岩石化学方法的准确性及适用范围。有人还试图找到一个区分正副变质岩的普遍的岩石化学准则（如区分正副变质岩的函数判别式等等）或一个适合于各种原岩类型的图解。

另一种倾向是对岩石化学方法持怀疑态度,认为不能用它来恢复变质岩的原岩类型,出现这种看法是由于下列情况所引起:

(1) 有些由不同成因类型的原岩形成的相同类型的变质岩(如不同成因类型的斜长角闪岩等)往往具有相似的化学成分,尤其是在各种造岩元素的含量上差别不大。例如,恩格尔等人分别研究了美国、澳大利亚、挪威、法国等地的斜长角闪岩,那末能发现沉积成因的斜长角闪岩和基性火成岩在化学组分上有明显的差别。因此,威尔科克斯等人认为只有根据确切无疑的野外资料,才能区分正副斜长角闪岩。

(2) 有些变质岩的原岩类型,根据地质产状和岩石学标志所得出的结论和应用岩石化学方法所得出的结论完全相反。例如,有的条带状斜长角闪岩,根据碎屑锆石断定是沉积成因的,但是应用岩石化学方法则认为是岩浆成因的。又如,在应用尼格里四面体图解时,由于图解的误差率较大(尤其是火成岩区),不仅使沉积成因的角闪质岩石投在火成岩区,也使由各种碎屑岩和火成碎屑岩形成的变质岩投在火成岩区。

(3) 有时同一变质岩的原岩类型,应用不同的岩石化学方法可得出完全不同的结论,有的方法表明为火成岩,而另外的方法表明为沉积岩,应用的方法愈多,出现的矛盾也愈大。

(4) 有人用未变质的火山岩和沉积岩的岩石化学数据对恢复变质岩原岩类型的各种岩石化学方法进行了检验(如鲁金科等用18种岩石类型,周世泰用755个岩石化学数据^①),检验结果表明各种岩石化学方法都有一定的误差率,有的可高达75%。

在应用岩石化学方法研究变质岩的原岩类型方面出现的上述问题,原因是多方面的,主要的原因有如下几点:

1. 对各种类型变质岩的化学成分特点研究不够,因为变质岩的原岩类型十分复杂,它们包括了不同类型和不同成分的侵入岩、火山岩、沉积岩及火山—沉积岩。虽然有些原岩类型由于在化学成分上具有明显的特征而容易被识别,但也有很多不同成因类型的岩石,由于具有相似的化学成分而不易区分,它们能在相同的物理化学条件下形成同一类型的变质岩(如斜长角闪岩、片麻岩、变粒岩、浅粒岩等)。由于对后一种情况下成分相似而成因不同的岩石在化学成分上的差异性尚缺乏较深入的研究,所以不能很好的将他们加以区别,这是今后需

要进一步研究解决的问题。

2. 对各种岩石化学方法和图解的特点及适用范围缺乏必要的了解,因为不同图解所依据的资料及需要解决的问题不同,它们之间可以有很大的差别,若不加分析地应用,便会得出与实际不符或互相矛盾的结果。另外,现有的大多数方法和图解对火山—沉积岩的化学特点都不够重视,在图解上没有相应的(或可能的)位置,这也是造成上述问题的主要原因。

3. 对所用岩石化学资料的可靠性注意不够。由于所研究的变质岩受到混合岩化或其他交代蚀变作用的影响,使原来的化学成分受到了改变,或者所用岩石化学资料的精度较差,这些都会使岩石化学方法的准确性受到影响。

二、岩石化学方法的理论基础

由于在应用岩石化学方法恢复变质岩原岩类型方面存在一些问题和不同看法,在分析产生这些问题的原因之后,笔者认为岩石化学方法仍然是恢复变质岩原岩类型的重要方法之一,虽然它不象地质产状和变余组构那样直接说明变质岩的原岩类型,但在地质产状特征不明显和变余组构完全消失的深变质岩中则是恢复变质岩原岩类型的重要手段。由于原岩类型的复杂性和研究不够等原因,目前虽存在一些问题,但它所依据的基本原理是正确的,主要有如下两个方面:

1. 区域变质作用基本上是等化学的变化,目前大多数人认为在变质作用过程中岩石的化学成分基本上没有改变(H_2O 、 CO_2 等挥发分除外^②),这一原理已由大量的专题研究工作所证明。例如,大多数变质岩具有相应的沉积岩或火成岩的类似成分(H_2O 和 CO_2 除外)。又如,由同一泥质岩石形成的变质岩(从板岩到片麻岩),在化学成分上除 H_2O 和 CO_2 外没有发生变化,甚至在碱金属的含量上也基本一致(由于区域变质作用后期混合岩化作用等的影响除外)。强调这一点是重要的,因为变质作用的“等化学原理”是应用岩石化学方法研究变质岩原岩类型的基础,也是大多数岩石化学图解的依据。如果变作用过程中岩石的化学成分有不同程度的改变,就不能把变质岩的化学成分当成变质前原岩的化学成分进行对比,这将使应用岩石化学成

① 周世泰:1980,恢复变质岩原岩岩石化学方法的检验,鞍山冶金地质,1980年1期

② Fe_2O_3/FeO 比值一般随变质程度增高而减小

分特点恢复变质岩原岩类型的工作变得更为复杂。

关于变质作用过程中除 H_2O 和 CO_2 外,其他组分有无变化的问题,目前也还存在着不同的看法。有人认为在变质作用(尤其深变质作用)中除 H_2O 和 CO_2 外,其他组分(尤其是活动性较强的K、Na等)也可能发生变化。例如,在莫伊纳、巴拉绍夫等提出的图解中,只有活动性小的元素Al、Fe、Ti、Ca和Mg,而不用活动性强的元素K和Na。但是多数人认为在变质作用过程中,由于变质反应所产生的元素迁移作用,其距离最多只有几厘米,因此从一定范围来看岩石的化学成分基本上没有变化,这已由实际观察所证实(都城秋穗,1973;弗农,1976)。

2. 不同成因类型的原岩在化学成分上应有所差别,因为在地壳演化过程中,由于各种元素在不同的地质作用和物化条件下发生的分异作用,使不同成因类型的岩石和岩系具有不同的元素组合。例如,从总的来看火成岩和沉积岩的化学成分就有所不同,在火成岩中一般 SiO_2 为34—77%, Al_2O_3 为0.47—30%(一般小于20%),一般是 $FeO > Fe_2O_3$, $Na_2O > K_2O$ (部分碱性岩和酸性岩相反);在沉积岩中 SiO_2 可大于80%, Al_2O_3 可达39%,一般是 $Fe_2O_3 > FeO$, $K_2O > Na_2O$ 。在火成岩中从超基性—基性—中性—酸性,元素组合的变化更具有明显的规律性。在不同类型的沉积岩(如各种碎屑岩、粘土岩和碳酸盐岩)中,元素组合虽然没有火成岩那样的规律性变化,但它们之间也有着明显的差别。又如,由辉长岩形成的斜长角闪岩与由基性喷出岩和基性凝灰岩形成的斜长角闪岩,在Cr、Ni、Co的含量上具有明显的差别,前者Cr、Ni、Co的含量很高,后者Cr、Ni、Co的含量却相当低(西多连柯,1972)。再如,由岩浆作用形成的碳酸岩和沉积作用形成的碳酸盐岩在主要元素的含量上差别不大,但二者在稀有和稀土元素的含量上却有显著的区别。由上可见不同成因类型的原岩之间,有的在主要元素的含量上具有明显差别,有的虽在主要元素的含量上相似,但在微量元素的含量上却存在着差异,这也是应用岩石化学及地球化学方法恢复变质岩原岩类型的依据。虽然目前关于这方面的规律性有的还不十分清楚,但随着研究工作的深入将逐步被人们所认识。那种认为由于不同成因的变质岩可能具有完全相同的化学成分,因而对岩石化学方法本身产生怀疑是缺乏根据的。

三、岩石化学方法的正确应用

根据上述对岩石化学方法的认识和对三十几种图解的分析研究,笔者认为岩石化学方法仍然是恢复变质岩原岩类型的重要方法之一,但在应用时必须注意如下几方面的问题:

1. 要尽可能恢复各种变质岩的具体的原岩类型,而不是简单的判断它是“正变质岩”或“副变质岩”。尤其是要注意区分各种类型的火山—沉积岩,因为实际资料表明在地壳中存在着大量的火山—沉积岩,特别是在前寒武纪的变质岩层中还存在着大量的基性火山—沉积岩。它们的特点既不同于一般的火山岩,也不同于正常的沉积岩,它们的物质成分来自于火山作用和沉积作用两个方面,在二者之间存在着不同的组合形式和过渡类型。因为火山—沉积岩的形成方式是多种多样的,它可以是由各种火山喷发物、火山喷气或火山热液进入水盆地后,与各种沉积物、海水、地表水或地下水相互作用而形成。因此,它包括了由基性、中酸性的火山碎屑物质与砂质、泥质或碳酸盐类形成的各种凝灰岩和凝灰质岩石,如五台山地区形成绿泥片岩的基性沉凝灰岩和形成云母变粒岩的凝灰质粉砂岩^①,加拿大格伦威尔地区形成斜长角闪岩的基性凝灰质石灰岩,等等。它还包括火山喷气和化学沉积物组成的钙硅酸盐岩石、硅质岩、磁铁石英岩和菱铁矿等。此外,它也包括原来的火山岩(熔岩或凝灰岩)经风化搬运后形成的各种岩石。由于这类岩石不能只根据化学成分把它们划归为火成岩或沉积岩,而且目前许多恢复变质岩原岩类型的图解都没有对这类岩石的化学成分特点给予应有的重视,这也是各种图解出现所谓误差率的主要原因。

在恢复变质岩的原岩类型时,对火山—沉积岩的化学成分特点及它们在各种图解上的分布情况进行认真的研究,以便总结出规律并在图解上划出它们的分布范围或分布趋势。例如,范德坎普(1968)在应用利克提出的(al—alk):c图解和c:mg图解研究加拿大格伦威尔地区变质岩系的原岩类型时,根据岩石化学特点在二个图解上的分布趋势是从石灰岩延续到火成岩区,而没有延续到泥质岩区。因此,认为斜长角闪岩的原岩成分相当于玄武质凝灰岩和石灰岩的混合物(见图1)。

^① 贺高品、李树勋等,1982,五台山地区繁峙群和五台群的原岩建造及其演化,长春地质学院科学研究论文集,第一分册

al-alk

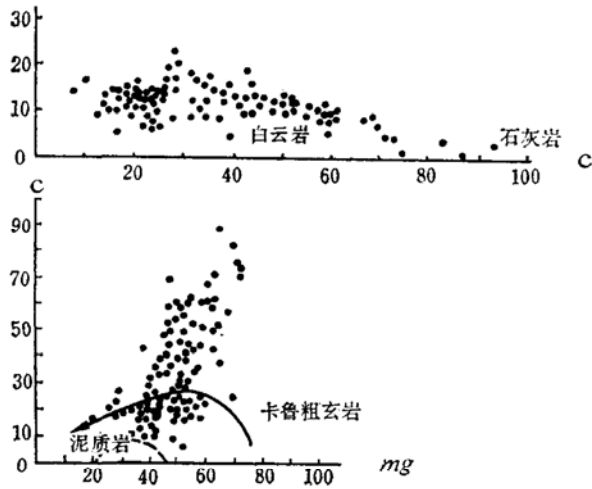


图 1 格伦威尔地区变质岩系在 (al-alk):c 图解和 (c):mg 图解上的分布趋势 (按范德坎普, 1968 简化)

2. 对选用的方法和图解的依据、适用范围及优缺点等要有所了解, 因为已有的各种方法所依据的岩石化学资料不同 (如地区、时代、变质岩或未变质岩、代表类型、数量等等), 不同作者的出发点和所要解决的问题也不同, 因此它们都有一定的适用范围。过去由于对有些方法和图解没有进行深入了解, 在应用时往往不能得到满意的结果, 甚至有抄错用错的情况 (如西蒙南图解、詹森图解等)。

现以目前常用的西蒙南图解为例来说明这一点 (见图 2)。

该图解是西蒙南于 1953 年在《芬兰地质学会公报》杂志上发表的《芬南西南部地区早太古代瑞芬期上地壳岩石的地层学和沉积作用》一文中提出来的, 该地区变质岩中的变余组构比较明显, 在沉积岩形成的变质岩中见有变余碎屑结构、递变层理或条带状构造, 火山岩形成的变质岩中则见有变余火山碎

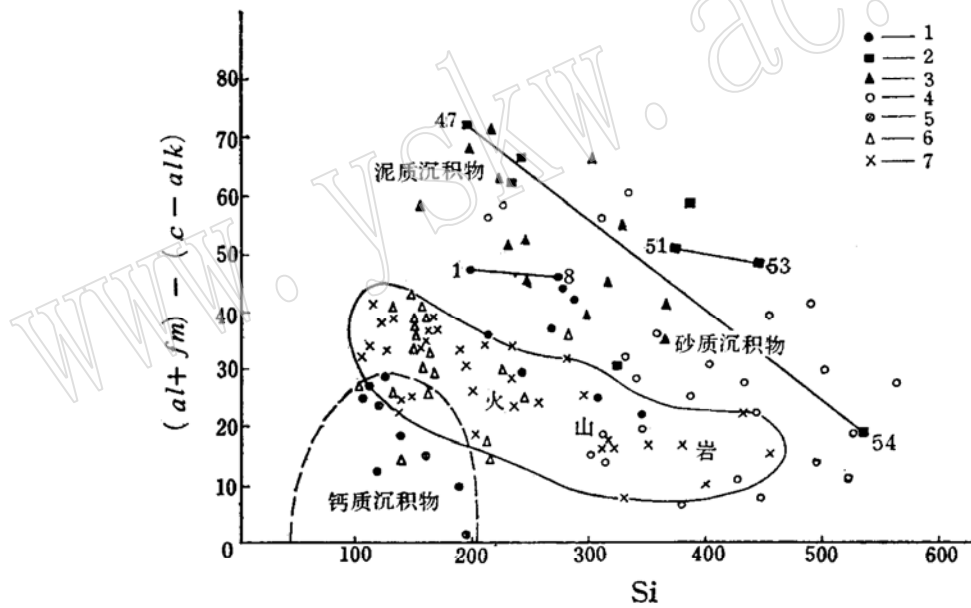


图 2 (al+fm) - (c+alk):Si 图解 (西蒙南, 1953)

1—纹泥状片岩; 2—云母片岩; 3—云母片麻岩 (榴云岩); 4—石英—长石岩 (浅粒岩); 5—钙质片岩; 6—凝灰岩; 7—变余斑状火山岩

屑结构、变余斑状结构等。

西蒙南把该地区的变质岩划分为如下七类:

(1) 纹泥状片岩 (vared schists), 主要为纹泥状千枚岩和片岩, 少数为纹泥状板岩, 它们的主要特征是具有纹泥状构造, 即一般所称的递变层理, 它的厚度可以从几毫米至几米。

(2) 云母片岩, 主要为云母片岩, 可含堇青

石和红柱石, 也包括少数黑云母片麻岩和千枚岩。

(3) 云母片麻岩或榴云岩 (kinzigites), 主要为榴云岩、榴云片麻岩和片麻岩, 可含石榴石、堇青石和砂线石。

(4) 石英—长石岩 (quartz-feldspar rocks) 或浅粒岩 (leptites), 主要为浅粒岩 (有的含堇青石或变余斑晶)、浅粒状片麻岩或片岩, 少数为

斜长(黑云)片麻岩和长石砂岩。

(5) 钙质片岩: 主要为透辉石(辉石)斜长角闪岩、透辉石(辉石)斜长片麻岩和富钙片麻岩, 少数为方解石角闪石岩。

(6) 凝灰岩: 主要为基性及中性凝灰岩、集块岩, 少数为变质玄武岩和钠长绿帘绿泥片岩, 变质较深时为斜长角闪岩(有的含方解石或具杏仁状构造)及角闪石片岩。

(7) 变余斑状火山岩(biastopphyritic volcanics): 主要为各种玢岩(包括纤闪玢岩、斜长玢岩及闪长玢岩)、各种斑岩(包括石英斑岩、石英斜长斑岩、长石斑岩、富钾斑岩、富钾的长石斑岩及花岗斑岩)、粗安岩和变质安山岩, 少数为辉绿岩, 变质较深时为变余斑状斜长角闪岩。

西蒙南根据上述各类岩石的123个岩石化学分析数据, 在图解上划出了不同成因类型岩石的分布范围, 他划分的几个岩石区的依据和特点如下:

(1) 火山岩区: 主要是根据凝灰岩类和变余斑状火山岩类岩石分布的最大范围圈定的, 从上面的介绍中可以看出它们包括了基性、中性和酸性的火山岩, 其 SiO_2 含量从46—75%, 在图解上主要表示为Si值从左到右(从基性到酸性)逐渐变化。

(2) 钙质沉积物区: 主要根据钙质片岩类岩石分布的最大范围圈定的, 由于它们的化学成分特点是C值较大, Si值较小, 所以位于图解的左下方。

(3) 泥质和砂质沉积物区: 它们在图解上分布于火山岩区的上面, 在左上方为泥质沉积物区(al值大, Si值小), 在右下方为砂质沉积物区(Si值大, al值小), 二者之间为过渡类型的泥砂质沉积物区。西蒙南文章中的纹泥状片岩类、云母片岩类和云母片麻岩类岩石基本上都位于泥质、泥砂质及砂质沉积物区(只有极少数纹泥状片岩类岩石例外), 部分浅粒岩类岩石位于砂质沉积物区, 还有一部分浅粒岩类岩石位于酸性火山岩区(有的含变余斑晶)。

这里需要指出的是图解上的三对岩石投点的连结线是表示同一岩石中的深色层和浅色层在原岩类型和化学成分上的差别, 图解上的1点和8点分别为同一纹泥状板岩中的深色部分和浅色部分, 51点、47点和53点、54点分别为同一云母片岩中的深色层和浅色层, 它们说明同一岩石中的深色部分含泥质较多, 而浅色部分含砂质较多。其中47点和54点的化学成分相差很大, 有人认为是由于与褶皱有

关的分异作用所造成。因此, 在一些文章中把47点和54点的连结线当成泥质岩石和砂质岩石的分界线是不对的, 实际上在应用该图解时可以取消这条连结线。

我们认为应用西蒙南图解恢复变质岩的原岩类型时还需注意如下几点:

(1) 西蒙南图解的适用范围比较广泛, 有人认为只适用于 $\text{SiO}_2 > 53.5\%$ 的岩石是不对的, 但它不适用于如下几类岩石:

a. 超基性岩: 因为西蒙南所用的资料中没有 $\text{SiO}_2 < 46\%$ 的超基性岩。由于超基性岩的 SiO_2 含量较低, 而MgO和FeO的含量较高(即 f_m 较大), 因此, 它们在图解上的投点主要分布在基性火山岩区的外面并向左上方延伸(如冀东地区的变质超基性岩), 这是检验该图解时造成火成岩错差率较大的主要原因。

b. 超酸性火山岩: 在西蒙南所用的资料中酸性火山岩的 SiO_2 含量最大为75%。因此, 凡是 $\text{SiO}_2 > 75\%$ 的超酸性火山岩(如石英角斑岩等)将分布在酸性火山岩区外面的砂质沉积物区, 这也是在检验该图解时造成火成岩误差率较大的原因。

c. 钙质碳酸盐岩: 在西蒙南所用的资料中虽有钙质片岩类岩石, 它们的化学成分主要相当于硅质白云质泥灰岩, 一般CaO含量小于16%。因此, 凡是CaO含量较高的岩石(如钙质泥灰岩、石灰岩等), 由于c值较大, 它们的投点将分布在钙质沉积物区以下的图外。

(2) 西蒙南图解上的火山岩区既包括了火山熔岩, 也包括了火山凝灰岩, 二者在图解上无法区分, 应结合地质产状和变余组构等特征加以区别。关于各种过渡类型的火山—沉积岩则主要分布在靠近火山岩区的外围地区。

由上述可见, 要正确选择和应用已有的岩石化学图解, 必需对它们进行全面的了解, 只限于统计性的检验是不够的, 而应对产生误差的原因进行具体分析。并且要根据本地区变质岩可能的原岩类型和岩石化学特点, 选择几种合适的图解。如果不加分析地应用许多图解, 结果不但得不出正确的结论, 反而会造成更多的矛盾。

3. 要尽可能与变质岩的地质产状和岩相学标志等方面的研究密切结合, 以便互相检查和互相补充。一般来说, 在恢复变质岩的原岩类型时, 岩石的地质产状、岩石共生组合、变余组构和矿物特征(种类和含量)等具有更直接的意义, 因此, 在应

用岩石化学成分特点恢复变质岩的原岩类型时,应尽可能收集这方面的资料。总的来说,原岩的产状和组构特征在浅变质岩石中比较常见,随着变质程度的增加则愈来愈少,但是一些深变质岩石发育地区(如冀东、五台山等)的工作证明,由于变质作用的不均匀性,即使在角闪岩相甚至麻粒岩相的条件下,在少数变质岩中仍能观察到变余组构等的存在,但它们往往受到变质作用过程中重结晶和构造变形等的影响,而没有在浅变质岩石中表现的那样明显和典型。

4. 应注意岩石样品的可靠性和化学分析数据的精确度。因此,首先要对相应的岩石薄片进行镜下检查,对于明显受混合岩化作用或其他交代作用影响的岩石样品应该剔除,凡是没有达到精度要求的岩石化学数据也不能应用,因为它们都对正确恢

复变质岩的原岩类型有所影响,有时可得出与实际情况完全不同的结论。

主要参考文献

[1] Simonen, A., 1953, Stratigraphy and Sedimentation of the Svecofennidic, early Archean Supracrustal Rocks in Southwestern Finland. Bull. Comm. Geol. Finlande. No160, p. 1—64.

[2] Leakt, B. E., 1964, The Chemical distinction Between Ortho- and Para-Amphibolites. J. Petrol. Vol. 5, No2, p. 238—254.

[3] Руденко, В. Е., Руденко, Ю. Л., 1979, Реконструкция Метоморфозованных и Метасоматически Измененных пород Докембрия. Новосибирск, «Наука».

Some Problems on Using Petrochemistry Methods in Restoring the Metamorphic Rocks to their Original Natures

He Gaopin

Abstract

In compiling the map of China Metamorphic petrology, the author has reviewed more than thirty ordinary petrochemistry methods in regard to their character and application, and he has noticed there are two erroneous tendencies in the application of these methods both in our country and abroad, one of them only used one or two petrochemistry methods in restoring the original rocks, the other throwed doubt on the effectiveness of all petrochemistry methods. The author analysed the causes which produced above two erroneous tendencies.

Two principles of petrochemistry methods are discussed in this paper and considered essentially to be true. The first is that the regional metamorphism is equichemical, i. e. there is no chemical change in the rocks in the processes of metamorphism, except their H_2O and CO_2 content. The second is that the chemical composition should be different between the various genetic types of original rocks either in their major elements or minor elements, and even in the relationships of them.

For the correct use of the petrochemistry methods the author puts forward four items of suggestion, in which should be especially emphasized is that one should pay attention to the chemical peculiarities of various volcanic-sedimentary rock types and their distributive characters in various petrochemistry diagrams. In addition, It is necessary to have an intimate understanding of selected methods including their theoretical foundation, applicability, advantages and their defects.

www.yskw.ac.cn