恢复变质岩原岩的一种岩石化学方法
—KA图解法

周 世 泰

（鞍山地质勘探公司）

一、恢复变质岩原岩岩岩化学方法之现状

在变质岩研究领域里恢复变质岩原岩问题是愈来愈重要了。恢复变质岩原岩的方法大体上可以分为岩石矿物学方法、岩石化学方法和地球化学方法等。目前以岩石化学方法比较成熟，应用比较广泛。在国内外文献中常见的恢复变质岩原岩的岩石化学方法有数十种之多，它们是不同的地质学者依据不同的地质学者依据不同的岩石化学资料提出来的，因此其精确程度和应用范围必然各有不同。这就使人在运用这些方法时感到无所适从。常常有人认为多用一些方法互相比较可能会得到好的结果，其实未必。真正需要的是要了解各种方法的精确度和优缺点，扬长避短，择优而用之，才能提高恢复变质岩原岩的可靠程度。

作者依据从国内外文献中搜集的755个岩石化学数据(火成岩503个，沉积岩252个)对常见的16种岩石化学方法进行了检验，检验的结果见下表：

检验的结果表明：1．这些岩石化学方法的精确程度参差不齐，有的方法误差很大。其中误差比较小的方法有：DF值判别函数法、威尔逊（al－alk)/C图解、西蒙南（al＋fm）－（c＋alk）/Si图解。其次还有邓明恺n－c－f图解、尼格里四面体图解、莫伊纳（Fe＋Al＋Ti）/（ca＋Mg）图解。除此以外其它方法的误差就更大了；2．各种方法的适用范围不同，如威尔逊的（al－alk）/c图解、尼格里图解，对火成岩的检验误差率很低（1～2％）。D·M·肖的D（X）值判别函数法、米斯拉TiO_2－F图解、米斯拉TiO_2—MnO图解等，对沉积岩检验的误差率很低（0～4％）。我们可以利用这些方法各自的特点，用它们作为辅助方法来鉴别原岩。

此外，还有一些方法难以进行检验，这有几种情况：1．有些图解中没有确切地划分出正副变质岩的分布范围，因而无法进行检验。在应用时也会因为没有明确的区划难以得出确切的判断。如米涅尔特的K_2O-Na_2O图解就是如此；2．有些图解中虽然划分出了不同的岩石分布区，但不同的岩石区划之间重迭太多，在同一位置上可以有多种解释，因而降低了这种图解的判别能力。如A·A·普列道夫斯基的AKF图解就是如此；3．还有一些恢复变质岩原岩的图解，其中并不划出不同岩石的分布区，而是划出正副变质岩的分布趋势线，如利克的C－mg图解和100mg－c－（al－alk)图解。这类图解在应用时困难很大，因为用它来鉴别每一种岩石均需大量的岩石化学数据，否则难以构成明

恢复变质岩原岩岩石化学方法的检验结果表

方　　法	火　成　岩			沉　积　岩		
	试样数	误差数	误差率%	试样数	误差数	误差率%
尼格里四面体图解[1]	503	8	1.59	252	83	32.8
西蒙南(al+fm)－(c+alk)/Si图解[4]	503	150	29.9	252	17	6.7
威尔逊（al－alk）/C图解*	503	10	2.0	252	67	26.6
K－mg图解++++	502	118	23.5	252	140	55.6
al－alk图解++++	503	249	49.6	252	56	22.2
米斯拉TiO_2－F图解*	466	293	61.2	229	1	0.004
米斯拉TiO_2－MnO图解*	500	306	61.2	217	8	3.68
刘义德Al_2O_3/（Na_2O+K_2O）图解++	503	375	74.7	252	17	6.75
刘义德SiO_2/（Na_2O-K_2O）图解	502	171	34.1	252	195	77.4
莫伊纳(Fe+Al+Ti)/(Mg+Ca)图解*	234	81	34.6	48	6	12.5
邓明恺n－c－f图解+++	503	120	25.0	215	42	19.5
G·Rocci Al—Na－K图解++++	502	205	40.7	252	29	11.5
沃克MgO－CaO－<Feo>图解*	502	191	38.0	247	223	90.3
D·M·肖 DF值判别函数法++++	212	19	9.0	156	20	12.8
D·M·肖D（X）值判别函数法[4]	106	42	60.3	58	0	0

* 地质科学院情报所编　1975　变质岩的原岩识别及其恢复方法

++ 刘义德　1978：　利用岩石化学成分确定斜长角闪岩类原岩的一种方法区测情报［1978］1 期

+++ 邓明恺　1979：　鉴别正副变质岩的一种方法—ncf三角图解［打字本］

++++ 方清浩　1978：　关于变质岩原岩恢复方法的认识［打字本］

确的变异趋势。作者对于后述三类恢复变质岩原岩之岩石化学方法就没有进行检验了。

根据对恢复变质岩原岩之岩石化学方法的了解以及对它们进行了检验的基础上，作者于1977年编拟了一个鉴别正副变质岩的岩石化学方法—K A图解法。在内部刊物 1）发表之后，经许多同志的试用，作者又作了些补充和修改，现在再发表出来请大家讨论指正。

二、用岩石化学方法恢复变质岩原岩的理论依据

恢复变质岩原岩问题主要是讨论区域变质岩的恢复原岩问题。一般认为区域变质作用是在等化学条件下形成的，即在变质作用过程中除水和挥发性组份有所逸失之外，变质岩与其原岩之间在化学成份上基本是没有变化的。在这个前提下，即可通过对火成岩和沉积岩的岩石化学特征的研究，找出其间的岩石化学差异，即可认为这也就是正副变质岩的岩石化学差异，并以此把它们区分开。

一般认为地球岩石圈发展中，初始的岩石应该都是火成岩，而沉积岩和变质岩都是由火成岩发展演化而成的。初始的火成岩在水圈和气圈的作用下，经过风化侵蚀、搬运、沉积（即广义的沉积作用）过程而形成沉积岩。火成岩和沉积岩在地壳运动的过程中，因温压的增高发生变质而成为变质岩。其中由火成岩转变而成的为正变质岩。如中间再经过一个沉积岩阶段，即火成岩→沉积岩→变质岩，这样形成的变质岩为副变质岩。实际上在漫长的地史时期中，岩石在进入现今之变质岩剖面之前所经历的历程决非如此简单，可能经过多次反复的侵蚀、沉积过程，甚至还经过变质和重熔。但如从火成岩和沉积岩的形成是两种截然不同的岩石化学演化过程来考虑，基本上可分为直接由火成岩变质而成的正变质岩，和由火成岩经过沉积岩阶段再变质而成的副变质岩两大类。二者之差别就在于中间是否经过一个沉积岩。由于火成岩和沉积岩在各自的形成过程中，其岩石化学成份在组合、分异、演化的特点上有本质的不同。据此即可将这两大类岩石，以及由它们变质而成的正、副变质岩区分开。

在由火成岩转变为沉积岩的过程中，岩石的化学成份会发生一系列的变化，其中主要的可能有以下几个方面：1．原岩中的一部分化学成份析出进入水圈或气圈之中。即按照各种元素在表生条件下活动性的不同，而分别先后，以不同数量从原岩中析出；2．水圈和气圈的一部分成份，如H_2O、CO_2等进入沉积物之中；3．由于在整个风化—沉积过程中都伴随着物质成份的机械分异作用和化学分异作用，从而使原来火成岩的化学成份在表生条件下发生重新分配。上述的火成岩转变为沉积岩的过程中产生的这些化学成份方面的变化，就构成了它们之间岩石化学特征上的差异。即可以此作为按岩石化学成份特征区分火成岩和沉积岩，以及由它们变质而成的正、副变质岩的基础。

火成岩和沉积岩在岩石化学特征上的差异，既表现在许多常量元素的含量上，也表现在某些常量元素之间的相关关系上。从岩石的常量元素含量来看，火成岩与沉积岩相比，其岩石化学成份变化范围较窄。例如：SiO_2 30～80%，Al_2O_3 10～20%，Fe_2O_3+

1） 周世泰1977：鉴别正副变质岩的一种岩石化学方法《地质科技》1977年2期。

Feo≤15%，Na_2O≤8%，K_2O≤6%。然而沉积岩的岩石化学成份是多种多样的，其变化范围要大得多了，例如，在砂岩石和硅质岩中SiO_2含量可高达95%；而石灰岩中之CaO含量可高达56%；在沉积铁矿中Fe_2O_3、钾盐中的K、岩盐中的Na，沉积锰矿中的Mn，都可以达到很高的含量。再从火成岩和沉积岩中某些组份之间的相关关系来看，二者之间也存在着明显的差异，此即在火成岩转变为沉积岩过程中化学成份的主要变化。主要的有以下几点：

1．Na、K比值的变化　据克拉克和华盛顿的资料[4]，火成岩中Na_2O与K_2O含量和基本上不超过12%，火成岩中Na_2O的平均含量为3.84，K_2O之平均含量为3.13。因此在火成岩中是$Na_2O>K_2O$。但是，在火成岩经受风化侵蚀—沉积过程时，其中的Na_2O只有一部份可以继续保留在沉积物之中，而相当大一部份Na_2O被溶解进入水体之中。至于K_2O，它在风化—沉积过程中虽然也很容易从岩石中析出，然而其中K_2O的大部份很快就会被附近的粘土矿物所吸附而保留在沉积物之中。因而在火成岩转变为沉积岩的过程中，Na_2O、K_2O均有相当大的部份进入水体之中，而且Na_2O的流失远较K_2O为多，因而使火成岩中$Na_2O>K_2O$的关系在沉积岩中被颠倒了过来，变成了$K_2O>Na_2O$。据莱斯和米德的资料[4]沉积岩中Na_2O平均含量为1.13，K_2O为2.86。这是火成岩和沉积岩岩石化学特征上的一个重要差异。在这方面当然也有例外，这就是在K_2O+Na_2O含量较高的碱性火成岩中常常是$K_2O>Na_2O$，而在沉积的岩盐中则是$Na_2O>K_2O$。然而这两种情况都易于根据它们本身的岩石化学特征而把它们鉴别出来。

2．Al_2O_3与$CaO+Na_2O+K_2O$比值的变化　在火成岩中Al_2O_3主要是与Ca、Na、K组成长石，只有在铝过饱和的火成岩中，Al_2O_3才能过剩而构成富铝的矿物。因此在火成岩中Al_2O_3含量多半不大于$CaO+Na_2O+K_2O$。据作者统计，火成岩中的

$$\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O}$$

比值绝大多数<65%。但是，在火成岩转变为沉积岩的过程中，Al_2O_3与$CaO+Na_2O+K_2O$组成长石的这种结合方式遭到了破坏，CaO、Na_2O、K_2O等成份较易析出，部分进入水体之中。而Al_2O_3则因其惰性而变化很少，大多残留在风化沉积物中形成粘土矿物。因而在沉积岩中常常是$Al_2O_3>(CaO+Na_2O+K_2O)$。这一点在泥质粉砂质岩石中表现得尤其明显。据作者统计，泥质粉砂质岩石中的

$$\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O}$$

比值绝大多数>65%。这也是火成岩和沉积岩岩石化学特征上的一个重要差异。当然也会有例外，即当沉积岩中含粘土成份很少时（如灰岩、砂岩、硅质岩等），这个特点是不明显的。

3．Fe_2O_3与FeO比值的变化　由于火成岩多半是在Eh值较低的条件下形成的，因而Fe在其中呈Fe^{+2}、Fe^{+3}两种形式出现。据克拉克和华盛顿的资料[4]，火成岩中Fe_2O_3、FeO的平均含量分别为3.08和3.80，就是$FeO>Fe_2O_3$。但在火成岩遭受风化侵蚀—沉积的过程中，其中的Fe^{+2}大多被氧化成Fe^{+3}，因而在沉积岩中FeO含量远低于Fe_2O_3的含量数。据莱斯和米德的资料[4]，沉积岩中Fe_2O_2和FeO之平均含量分别为3.47和2.08，

即$Fe_2O_3>FeO$。

4．H_2O和挥发组份含量之变化 在火成岩遭受风化侵蚀—沉积过程中，有许多H_2O和挥发组份进入沉积岩中。因而在火成岩中H_2O含量只有1.15%，[4]而在沉积岩中H_2O含量可达3.23%。

此外，有的资料中还指出MgO与CaO的比值也有变化，即认为在火成岩中CaO>MgO，而在沉积岩中MgO>CaO。但是，根据作者所搜集的岩石化学资料统计，这个特点是不明显的。

上述火成岩和沉积岩化学成分间的几点主要差异中，有的却不能用做区分正、副变质岩。例如，经过变质作用后，大部份Fe^{+3}又转变为Fe^{+2}，H_2O和挥发性组份在变质作用中又多半逸出了。因此，在区分正、副变质岩时可用的只有Na_2O与K_2O比值，和Al_2O_3与$CaO+Na_2O+K_2O$比值变化这两项。

三、KA图解法—恢复变质岩原岩的一种岩石化学方法

由上所述，可以以火成岩和沉积岩中Na_2O和K_2O百分含量的比值，和Al_2O_3与$CaO+Na_2O+K_2O$百分含量的比值的不同作为区分正、副变质岩的两项具体指标。为了计算方便起见，可以把这两项比值都化为百分比，即以 $\frac{K_2O}{Na_2O+K_2O}$ 100%称K值，以 $\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O}\times100\%$ 称A值。用这两个数值编制成一个二元直角座标图解—K A相关图解。

将作者所搜集的755个火成岩和沉积岩之岩石化学数据分别计算出K值和A值，并编制成相关图解（图1、2）。从图解中可以看出：不同类型岩石各有其特定的分布区。火成岩之投影点绝大部份是集中在K＜60%，25%＜A＜65%的范围内。泥质粉砂质岩石的投影点绝大部份是集中在K＞60%，A＞65%的范围内；而碳酸盐岩石之投影点则集中于A＜25%，K值不定的区域之中。只有砂岩和冰碛岩的图点不很集中。

这样我们可以根据统计比较，优选出误差最小的分界指标：K＝60%，A＝65%，以此可以把火成岩与泥质粉砂岩石区分开。再以A＝25%为分界指标把火成岩和碳酸盐岩石区分开。这样在KA图解中就可以划分出三个区："火成岩区"的范围是K＝0～60%，A＝25～65%。在此以外是"沉积岩区"。在"沉积岩区"中又可以再分出两个亚区：一个是"碳酸盐岩亚区"，它的范围是A＜25%，K值不定。其余的部份是"泥质—粉砂质岩石亚区"，它的范围主要是在A＞65%，K＞60%之处。按照这样的分区来看，在所收集的755岩石化学数据中火成岩57个数据错误地投影在"沉积岩区"了（图1），误差率11.3%；沉积岩有22个数据错误地落在"火成岩区"（图2），误差率8.7%。其中144个泥质粉砂质岩石数据有8个误落在"火成岩区"，误差率5.5%；碳酸盐岩石数据全部落在碳酸盐岩区，没有误差。

但是，用K A图解鉴别砂岩和冰碛岩时，则误差较大。砂岩33个数据中有7个误落入"火成岩区"，误差率21%。45个冰碛岩和长石砂岩数据中有13个误落入"火成岩

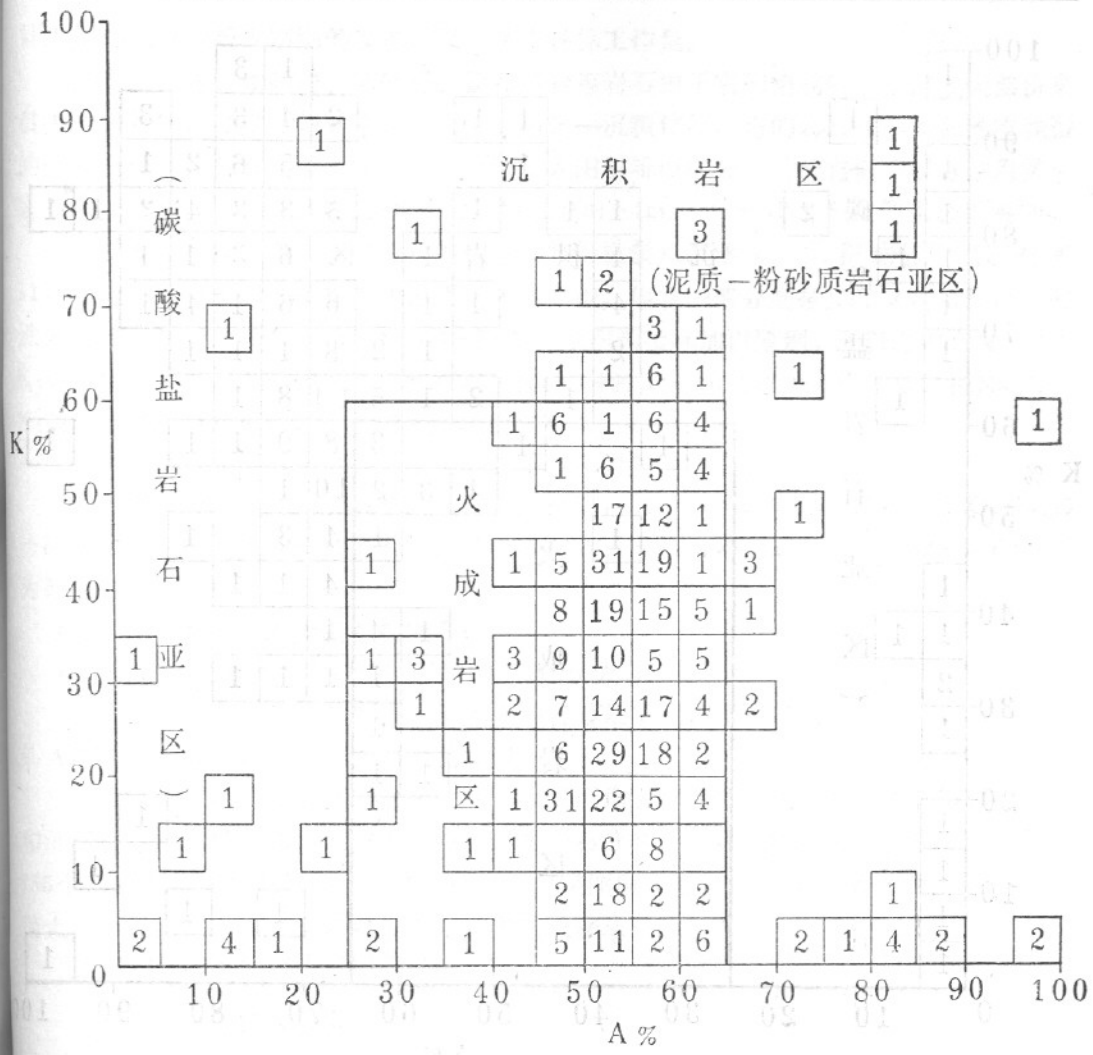


图1　火成岩K A图解

（图中数字为该区划中之投影点）

区”之中，误差率28.8%。产生这种情况的原因可能是：K A图解的理论基础是风化侵蚀—沉积过程对岩石化学成份的影响。因此，那些在风化侵蚀—沉积过程中受化学风化影响不多的冰碛岩、硬砂岩，以及一些由未经充分化学风化作用的火山岩碎屑组成，再经沉积而形成的岩石，就可能保留着更多的火成岩岩石化学特征，故而难以与火成岩相区别。另外，在沉积岩中，K值和A值的变化主要是由粘土矿物所决定的，因此这个规律对于含粘土矿物很少的岩石（砂岩、硅质岩等）则会出现较大的误差。

对于这种情况我们可以采用一些补充指标来区分它们。砂岩、硅质岩等含粘土矿物少的岩石，均为经过高度沉积分异的岩石，因而都具有突出的岩石化学特征。例如砂岩大多由石英组成，因而SiO_2含量很高。而含泥质或杂质矿物多的砂岩，其SiO_2含量并不很