

# 评花岗岩的哈克图解

张 旗

(中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘 要:** 哈克图解是研究岩浆岩地球化学必用的图件, 许多结论就是根据哈克图解做出的。哈克图解只是一个逻辑推理的工具, 它所推出的结论是否正确, 不是由图解本身决定的, 而是由实践决定的。岩浆演化的理论是对的, 岩浆演化的理论是从研究层状侵入体得来的, 它仅适用于玄武质岩浆, 而不适用于花岗质岩浆。实践是检验真理的唯一标准, 由哈克图解得出的结论没有经过实践的检验是不能成为真理的, 这是最基本、最简单的道理。

**关键词:** 哈克图解; 花岗岩; 玄武岩; 岩浆演化理论

中图分类号: P588.12<sup>+1</sup>

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)03-0425-07

## A discussion on Harker diagram of granites

ZHANG Qi

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Harker diagram is considered to be fundamental in the study of magmatic fractionation. However, the conclusions drawn from the diagram are dependant on basic geological facts instead of on the diagram itself. Fractionation trend of magmas demonstrated on Harker diagram is derived from the study of layered intrusions formed from basaltic magmas, and hence Harker diagram is not suitable for the study of granitic rocks. Many conclusions based on Harker diagrams of granitic rocks are not consistent with the basic geological facts.

**Key words:** Harker diagram; granitic rocks; basalt; magmatic fractionation

哈克图解是研究岩浆岩地球化学必用的图件, 许多结论就是根据哈克图解做出的。本文的题目是“评花岗岩的哈克图解”, 为什么只评花岗岩而不评玄武岩? 因为花岗岩哈克图解和玄武岩哈克图解的本质是不同的。简要说, 现在学术界流行的玄武岩哈克图解绝大多数是正确的, 而花岗岩哈克图解则绝大多数是错误的。笔者做如此论断可能许多人无法接受。笔者的理由是: 哈克图解是个好东西, 哈克图解本身无所谓对错, 它充其量只是一个逻辑推理的工具, 它所推出的结论是否正确, 不是由图解本身决定的, 而是由实践决定的。如果忽略了实践的认知,

简单地将哈克图解的结论作为结论, 就可能出问题。现在学术界对于花岗岩哈克图解的认识存在很大的误区, 笔者尝试探讨陷入误区的原因, 期望能对哈克图解有一个正确的认识, 不当之处, 欢迎大家批评。

### 1 哈克图解游戏

哈克图解是很有用的, 但是, 现在哈克图解却有被不仅乱用而且滥用的情况, 这是当前学术界亟待解决的问题。在此, 笔者举国外一个研究实例, 看看哈克图解已经被滥用到什么程度了。

Ajaji 等(1998)研究了北非摩洛哥海西晚期一个 Tanncherfi 岩体(344 Ma),该岩体由钾质和钠质两个系列组成。据该作者报道:钾质系列由二长辉长岩、石英二长岩和二长花岗岩组成,钠质系列为二长闪长岩和花岗闪长岩。主元素、微量元素和 Nd-Sr 同位素资料表明,两个系列均经历了分离结晶作用(图 1 和图 2);对于钾质系列(实心图例)来说,经历了单斜辉石、斜长石、角闪石、黑云母、钾长石以及钛铁矿、磷灰石和锆石的结晶分离;而钠质系列(空心图例)还经历了长英质岩浆的混染作用。

国外花岗岩地球化学研究的许多文章非常看重结晶分离作用对于花岗岩成因的意义,本篇极具代表性。请看该作者的描述:钾质系列的单斜辉石、斜长石、角闪石、黑云母、钾长石及副矿物钛铁矿、磷灰石和锆石全部是结晶分离的。也就是说,除了石英,花岗岩的组成矿物包括副矿物,全部是结晶分离形

成的,这可能吗?辉石是辉长岩的组成矿物,发生结晶分离不成问题。除此而外,上述矿物中部分是密度较大的(角闪石和黑云母),部分密度与花岗质岩浆相差无几(斜长石和钾长石),部分为副矿物。角闪石和黑云母虽然密度比花岗质岩浆大,但由于岩浆的黏性大,很难结晶分离;斜长石和钾长石密度与花岗质岩浆相仿,更不可能结晶分离(张旗等,2007,2008;张旗,2012);副矿物虽然密度很大,但由于粒度很小也不可能发生结晶分离(张旗,2012)。因此,该文没有野外和岩相学证据,只根据哈克图解给出的不同元素之间的关系得出结论,并没有经过实践的检验,其结论并不能认为是对的。

该文关于岩浆结晶分离的结论完全根据哈克图解,例如图 1c( $K_2O-SiO_2$ 图),钾质系列的酸性端员(二长花岗岩)与二长辉长岩和石英二长岩作为一个系列是很勉强的,而钠质系列的石英二长闪长岩和

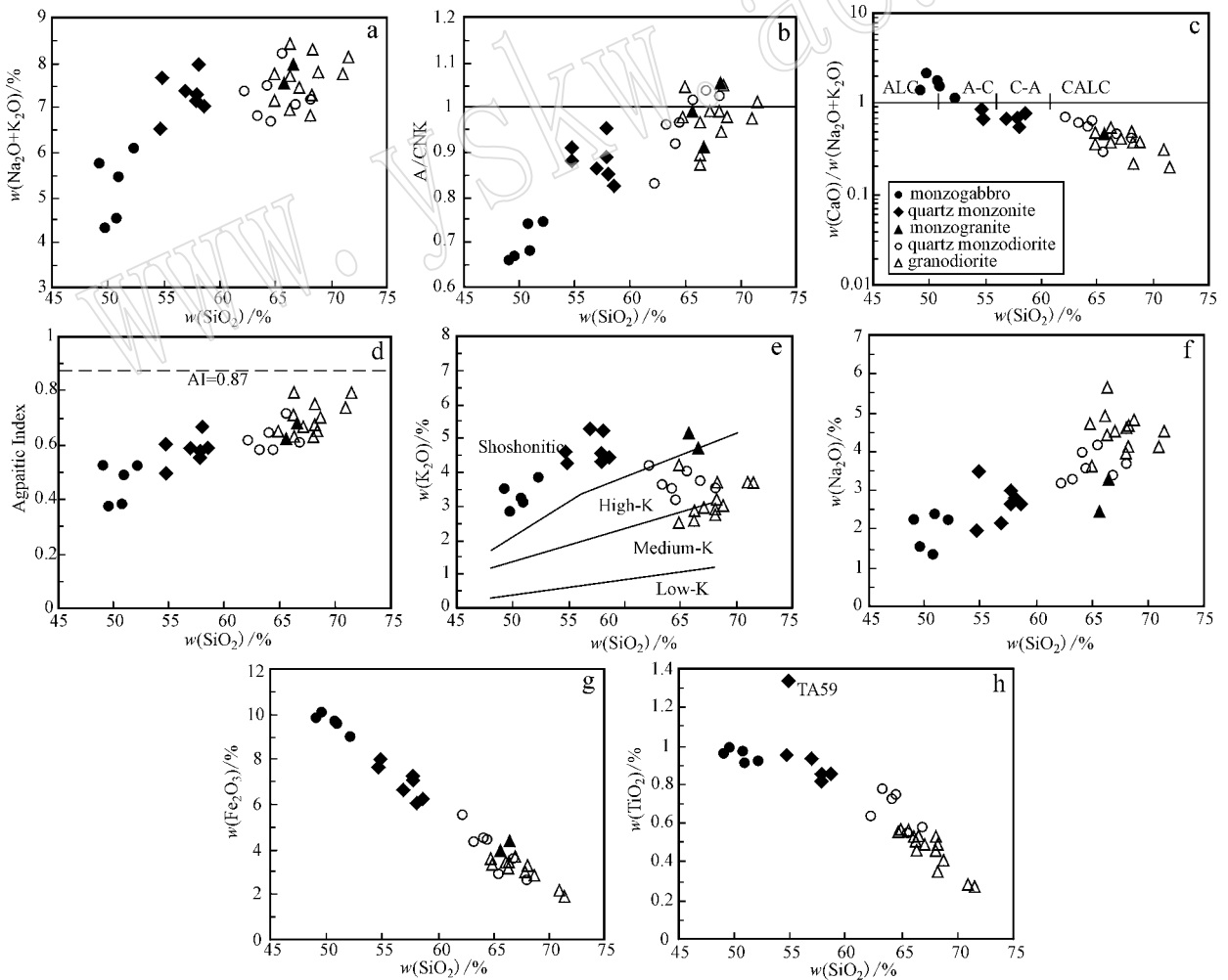


图 1 Tanncherfi 侵入岩的哈克图解 [据 Ajaji 等(1998)的图 2]

Fig. 1 Harker diagrams for the Tanncherfi intrusive complex (after Ajaji *et al.*, 1998, Fig. 2)

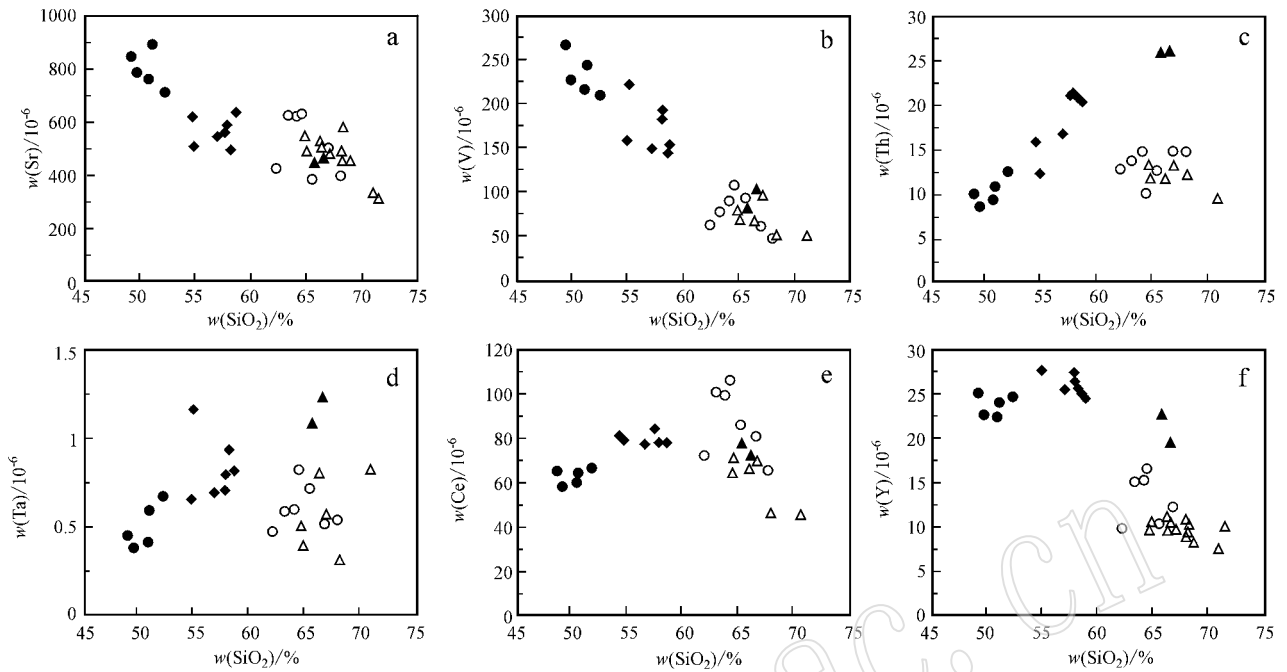


图 2 Tanncherfi 侵入岩的微量元素哈克图解 据 Ajaji 等 (1998) 的图 3 ]

Fig. 2 Selected trace element variation diagrams for the Tanncherfi intrusive complex (after Ajaji *et al.*, 1998, Fig. 3)

花岗闪长岩作为一个系列的可能性也很小,因为前者落入高钾钙碱性系列而后者属于钙碱性系列(图 1e)。但是,如果从其他几个图来看,它们均可以联成一条线,可以解释为具有相关性,尤其图 1c、d、g、h 和图 2a、b,甚至两个系列都在一条曲线上。在这里,哈克图解似乎成了一种游戏,一种万能的工具,怎么解释都行。例如,某些元素之间的某些相关关系,有人解释为结晶分离,有人解释为混合作用,还有的加上地壳混染,好似一个洋娃娃,怎么摆弄都行,令人哭笑不得。

## 2 从辉长岩、闪长岩到花岗岩,哈克图解为什么会有规律性的变化?

无论什么哈克图解,从辉长岩经闪长岩到花岗岩,许多氧化物和微量元素会出现规律性的变化,有些含量增加了,有些减少了,相应的某些元素之间的比值也会发生此消彼长的变化,于是人们就认为它们之间有相关性,具有成因联系,是演化的关系。这样的认识对吗?

笔者认为,应当辩证地看哈克图解。辉长岩、闪长岩、花岗岩组成矿物不同,成分不同,主要元素和微量元素自然不同。如辉长岩主要由单斜辉石和拉长石组成,与花岗岩相比富 Mg 和 Ca,微量元素富

Cr、Ni(与 Mg 相关)和 Sr(与 Ca 相关),相应地即贫 Si、K、Rb 等元素。闪长岩主要由角闪石和中长石组成,与辉长岩比则贫 Mg 和 Ca,相应地还贫 Cr、Ni 和 Sr,而 Si、K、Rb 则增加了。花岗岩主要由富 Na 的斜长石、钾长石和石英组成,暗色矿物很少,故 Si、K、Rb 含量比辉长岩和闪长岩都高,而 Mg、Ca、Cr、Ni、Sr 相应则降低了。上述情况是具有普适性的,不分地区、成因和时代。如果把一个地区或不同地区、不同时代的辉长岩、闪长岩和花岗岩的数据统统放在一张图上,上述元素之间必然存在一个逐渐变化的关系。它们是什么含义呢?这可能有几种情况:

(1) 对于辉长岩来说(这里指的是一个辉长岩岩体的数据),不同元素之间的变化可能反映了岩浆存在的分异演化关系;

(2) 对于辉长岩和闪长岩来说,如果辉长岩与闪长岩是同时代的,如果闪长岩具有幔源的特征(MgO 含量和  $Mg^\#$  数值高, Cr、Ni 等含量高),如果它们的 Nd-Sr 同位素和 Hf 同位素是相似的,则不同元素之间的变化也可能反映了它们之间存在的演化关系;

(3) 对于花岗岩或不同的花岗岩(花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩)来说,不同元素之间变化的哈克图解只是表明花岗岩本身或不同花岗岩之间成分存在差异,说明花岗岩成分存在不均匀性(源区组成

不同,或局部受混染,或局部受混合,或局部矿物分布不均),而不存在相互之间演化的关系或结晶分离的关系。野外不同花岗岩即使时代相同是如此,不相同更是如此。

因此,不能不问青红皂白,只要见到哈克图解元素之间存在相关性就认为它们之间存在相关关系和成因联系。由于幔源岩浆(辉长岩和部分闪长岩)存在结晶分离作用(这是有野外和镜下证据的),结晶分离的结果必然导致元素及元素比值发生变化,因此,它们之间的相关关系即有成因意义,即指示了结晶分离过程岩浆发生的变化及其趋势。相反,由于花岗岩结晶分离没有野外和镜下证据,因此,花岗岩

不可能演化,它们反映在哈克图解中的变化就不能解释为发生了演化和分异作用。

举一个极端的例子,如果我们从阿根廷取一堆玄武岩的数据,从智利取一堆安山岩的数据,再从中国大别取一堆花岗岩的数据,把它们统统投在一个哈克图解中,例如以  $\text{SiO}_2$  为横坐标的哈克图解(图 3 和图 4),必然会得出一系列的相关关系。如果不考虑上述前提,仅从哈克图解本身来看,它们之间可能存在某种联系。但是,如果考虑上述前提,则它们之间不可能存在任何联系,该哈克图解没有任何意义,只是一个游戏而已。

在图 3 和图 4 中,玄武岩是幔源的,是可以结晶

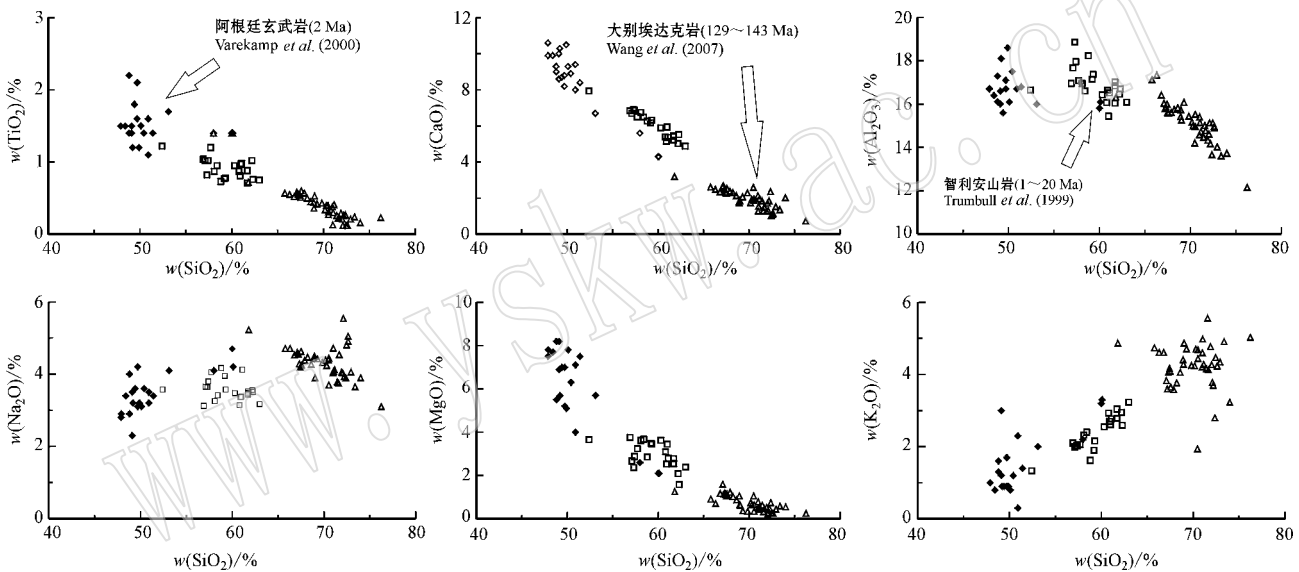


图 3 不同地区玄武岩、安山岩和花岗岩的哈克图解

Fig. 3 Harker diagrams of basalt, andesite and granite from different regions

分离的。但是,在上述哈克图解中不同元素随  $\text{SiO}_2$  含量的变化能够用结晶分离来解释吗?仍然不能,为什么?因为,玄武岩能够演化和分离,主要体现在  $\text{MgO}$  和  $\text{Mg}^\#$  的变化上,而不是表现在  $\text{SiO}_2$  含量的变化上。因此,上述哈克图解中玄武岩不同元素和氧化物之间的关系仍然是没有意义的,理由是与玄武岩结晶分离的理论表述不符,与实际不符。在上述哈克图解中,如果安山岩也是幔源的,其某些元素及比值与玄武岩可能存在某种联系,但是,由于玄武岩来自阿根廷,安山岩来自智利,它们也不可能有成因联系,即使哈克图解再漂亮也没有用。那么,花岗岩不同元素和氧化物在哈克图解上的变化反映了什么呢?很可能反映了花岗岩自身存在的不均一性。玄武岩和安山岩也存在这种不均一性,不过花岗岩

更甚而已。花岗岩这种成分上的不均一性在野外是随处可见的。这种不均一性可能与源岩不同、部分熔融程度不同、经历混染的程度不同、温度和压力不同以及水和挥发分含量不同等有关。

### 3 花岗岩哈克图解错在哪里?

花岗岩文献中哈克图解被用得无其数,可是,这些图解统统错了,错在哪里?错在以  $\text{SiO}_2$  为横坐标。可能有人调侃,那么,是否将  $\text{SiO}_2$  用作纵坐标就对了呢,也同样不对。将  $\text{SiO}_2$  作为横坐标的含义是考察随着  $\text{SiO}_2$  含量的变化,其他元素(包括主元素、微量元素和同位素)变化的情况。也就是说,随着岩浆的演化,岩浆由偏基性的成分向偏酸性的成

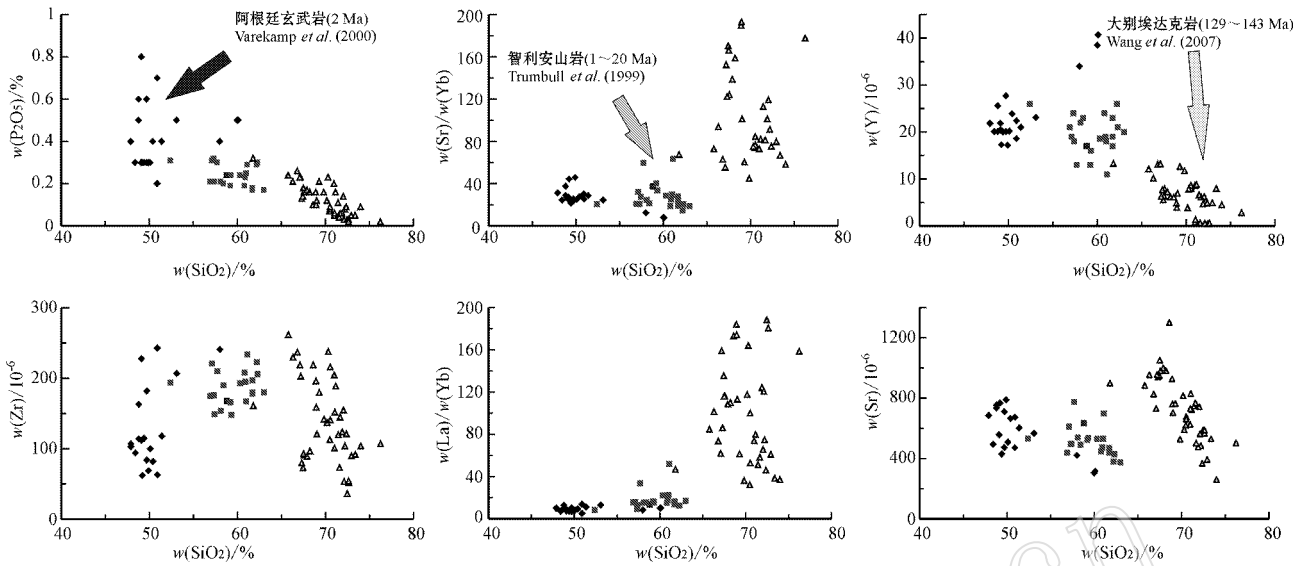


图 4 不同地区玄武岩、安山岩和花岗岩的微量元素哈克图解

Fig. 4 Selected trace element Harker diagrams of basalt, andesite and granite from different regions

分演化,其他元素会发生什么变化,从而找出规律,探讨岩浆的成因。

问题是:岩浆演化能够使  $\text{SiO}_2$  含量增加吗?

笔者已经指出(张旗等,2007,2008;张旗,2012),岩浆能够演化,岩浆能够分离,是从玄武质岩浆的研究得出来的,而且仅适用于玄武质岩浆。玄武岩怎样研究结晶分离或混合?也是用哈克图解,但是,是以  $\text{MgO}$  含量或  $\text{Mg}^\#$  为横坐标,这样的哈克图解是对的,没有错误。为什么?因为它有事实依据,有理论依据。玄武岩哈克图解从来不以  $\text{SiO}_2$  作为指标来考察随岩浆演化  $\text{SiO}_2$  与其他元素之间变化的关系。因为玄武质岩浆的演化主要体现在  $\text{MgO}$  和  $\text{Mg}^\#$  的变化上,演化的结果是从富镁质的岩浆变为富铁质的岩浆。橄榄石( $\text{SiO}_2$  含量低于玄武质岩浆)的分离会使残余岩浆的  $\text{SiO}_2$  含量增加,而随斜方辉石、单斜辉石和斜长石( $\text{SiO}_2$  含量统统高于玄武质岩浆)的分离是使残余岩浆的  $\text{SiO}_2$  含量降低。玄武质岩浆是干的岩浆,因此,玄武岩结晶分离的结果不会使  $\text{SiO}_2$  含量增加。那种认为玄武岩可以结晶分离出安山岩和流纹岩的说法是没有任何根据的。但是,学术界还是在翻来覆去地这么说,却不顾是否有实际实例,是否有理论依据,实在令人无奈。

花岗岩怎么结晶分离?笔者不知道花岗岩结晶分离是谁第一个提出来的,是谁将“随着岩浆的演化  $\text{MgO}$  含量会发生明显的变化”改变为“随着岩浆的演化  $\text{SiO}_2$  含量会发生明显的变化”的。但是,这个尝试

按照逻辑学术语叫“偷换概念”这一偷换,贻害无穷。

一个较大的岩体或岩基经常有辉长岩、闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩共存的实例(如北京八达岭花岗岩、涞源王安镇花岗岩、河北围场锥子山花岗岩等),但是,野外有从辉长岩演化到闪长岩再演化到二长花岗岩再演化到钾长花岗岩的证据吗?既然没有证据,那么,哈克图解随  $\text{SiO}_2$  含量变化的根据又在哪里?

野外和室内研究既然得不出随着  $\text{SiO}_2$  含量增加花岗质岩浆发生演化的现象,那么,以  $\text{SiO}_2$  为横坐标与其他元素之间的关系得出的关于岩浆演化的结论必定是错的。错不在哈克图解,错在其使用者。始作俑者错了,随后的跟随者也错了。笔者猜始作俑者出错可能也是稀里糊涂,其错误的根由可能有二:①以鲍温反应原理为依据。鲍温反应原理是上个世纪初的见解,在当时堪称先进,但是,到今天,鲍温反应原理的一些部分已经不适用了(张旗,2012)。②以岩浆演化理论为依据。岩浆演化的理论是从研究基性岩浆得来的,它仅适用于基性岩浆,而不适用于酸性岩浆。将基性岩浆的理论套用到酸性岩浆上来必然出错。

#### 4 花岗岩哈克图解如何解释才合理?

说了那么多花岗岩哈克图解的不是,那么,哈克图解还有用吗?回答是肯定的:有用。因为哈克图

解毕竟是一种行之有效的、比较直观的逻辑推理工具,只是对它的应用应当注意前提,对它的解释应当符合实际而已。

举一个例子,假如有一个岩基由 3 种岩性组成:花岗闪长岩、石英二长岩和黑云母花岗岩。将 3 个岩体的资料放在一个哈克图解中去投图,必然得出—系列的结果,有些有相关性,有些没有相关性。有相关性的,是什么关系?是成因有关,还是时空有关?应该如何去判断?这时就需要查明上述 3 个岩体之间是什么关系,是同期的还是不同期的?是同源的还是不同源的?它们之间是什么样的接触关系?以决定哈克图解如何解释。这里可能出现下面几种情况:

(1)如果什么都不知道,不知道这 3 个岩体的年龄和它们之间的接触关系,也不知道它们是否同源或同成因的。在这种情况下,哈克图解就没有任何意义,所做的任何解释都是没有依据的。

(2)如果这 3 个岩体是同期的,说明它们之间存在时空联系。这时,不同岩体哈克图解的若干元素之间存在的相关性即可能与它们各自的源岩、温度、压力、部分熔融程度、水含量、侵位过程的经历不同等因素有关。

(3)如果这 3 个岩体时代不同,哈克图解得出的相关性即反映了随时间变化岩体形成的环境和背景是否相同或不同,前述的各种因素也在考虑之列,此外,还需要增加一项:源区深度是否不同。

(4)如果这 3 个岩体中的两个岩体时代相同,另外一个不同,则哈克图解给出的相关性就应当分别对待:其中两个时代相同的岩体之间的相关性可以用第 2 条的标准去讨论,它们与第 3 个岩体的关系则适宜于用第 3 条标准来考察。

除此之外,可能还有更加复杂的情况。哈克图解是一个万花筒,可以自由和随意变换。可以用任何元素或氧化物或同位素含量及比值去与其他元素和氧化物及同位素的含量和比值做图,可以得出它们之间各种各样的关系,也可以尝试各种各样的可能的解释。但是,无论怎样解释,都必须与实际结合,符合实际情况,而不能无根据地胡猜乱想。

一堆地球化学数据,可以做出无数个哈克图解来,可以得出各种各样的结果,有些有相关性,有些无相关性;它们的含义自然不同。如果按照实用性的标准来划分,可以大致分为 3 种情况:①很有用的;②有用的;③没有用的。很有用的哈克图解能

够给出关键的信息,有用的哈克图解能够给出辅助的和进一步的信息,没有用的哈克图解不能给出任何有意义的信息。因此,很有用的哈克图解是最值得我们关注的,因为它可以提升研究的深度,提高研究的水平,解决关键的问题。与此相反,没有用的哈克图解是指那些仅与不同岩石类型有关,这类哈克图解相当多,有些甚至会给出错误的信息,应予以抛弃。例如,在花岗岩的所有哈克图解中, $K_2O-SiO_2$ 图可能是最有用的,它能够区分钠质系列和钾质系列,能够看出不同  $SiO_2$  含量的岩体之间是否存在相关关系。如图 1e 所示,我们能够得出以下认识:①辉长岩和闪长岩为钾玄岩系列,特别富钾,应当是产于陆内环境的,不大可能产于板块消减带环境;②原作者认为的钾质系列的花岗岩  $SiO_2$  含量与辉长岩和闪长岩相距很远,它们不大可能具有相关性;③钠质系列的石英二长闪长岩和花岗闪长岩不是演化的关系,它们很可能也不是同源的。因为,前者属于高钾钙碱性系列,而后者属于钙碱性系列。在所有哈克图解中,某些氧化物与微量元素以及微量元素含量及其比值、放射性同位素与微量元素之间的关系等,也是很有意义的,如图 2 中  $SiO_2$  含量与 Th、Ta、Ce、Y 的关系(图 2c、d、e、f),许多构造环境问题和源区性质问题要依靠微量元素的信息来了解。因此,这一类哈克图解也值得关注。相反, $SiO_2$  与  $Fe_2O_3$ (图 1g)的相关性是最好的,却是最没有用的。因为它模糊了所有岩体之间的差异。还因为图 1g 与图 1e 是矛盾的。如果相信图 1g,所有岩体都具有相关性,它们都有关联,就给出了错误的结论,将研究引入了歧途。类似这样的哈克图解相当多(如图 1d、f、h 和图 2b),应当在研究中注意识别并予以剔除。

因此,花岗岩哈克图解不是没有用,而是很有用。花岗岩哈克图解可以是各种各样,没有任何限制。不同哈克图解的功用不同,有些很好,有些很不好,需要仔细辨别,大意不得。笔者对哈克图解的追踪发现,投图前不同人的心态不同也是值得注意的:有的人什么都不知道,寄希望于从投图中得到启发;有的稀里糊涂,香花毒草难辨;有的主观意识很强,专取符合自己想法的;有的胸有成竹,知道自己需要什么等等,不一而足。但是,不论怎样,应当注意两条:野外研究和镜下岩相学研究要做好,这是哈克图解研究的前提;投图的结论要符合野外实际,至少不与野外实际发生矛盾。

花岗岩成因的复杂性是人所共知的,源区、温

度、压力、水和挥发分、混合、混染、交代等等都可能导致花岗岩地球化学成分上的变化。这些变化,在哈克图解中都可能有所反映。对哈克图解的解释可以八仙过海,各显其能,只要有证据,符合实际情况即可。因此,花岗岩的哈克图解是有用武之地的。笔者说,现在流行的花岗岩哈克图解统统错了,是错在用结晶分离来解释,是错在没有以实践作为依据。

## 5 哈克图解不是检验真理的标准,实践是检验真理的唯一标准

哈克图解是一种演绎推理的方法,推理描述的是作为前提的命题与作为结论的命题之间的一种逻辑性关联。正确的推理又称有效推理,如果一个推理是有效的,那么在推理中作为前提的命题“真”时,作为结论的命题不可能“假”,即不可能出现前提“真”而结论“假”的情况。同样,如果在推理中作为前提的命题“假”时,作为结论的命题也不可能为“真”,即不可能出现前提“假”而结论“真”的情况。

现在学术界对于哈克图解是怎样理解的呢?许多人把由哈克图解推导出来的结论作为结论,实际上,哈克图解给出的结论是否正确,是否为真理,不是哈克图解说了算,还必须经由实践的检验才行。哈克图解只是一个逻辑推理的工具,它不考虑前提是否合理,它只研究各个对象之间的关系。哈克图解在实际应用中是否为有效推理并不清楚,有效推理必须要求前提为“真”。哈克图解的推理是否有效关键取决于前提,前提是什么?前提是岩体之间的关系。关系清楚了,哈克图解才能成为有效推理;关系不清楚,哈克图解给出的则是无效推理。真理是指认识与对象的符合,逻辑证明是指由前提到结论的演绎推理过程。推理形式决定不了前提和结论是否与对象相符合,因此,结论的真理性不能由逻辑来证明,而只能由实践来证实。同样,数学推导所证明的也只是公理和定理、定理和定理间的逻辑关系,而公理和定理是否符合客观对象,是数学推导不能证明的。

逻辑证明在人们认识世界的过程中有巨大的作用,丝毫不能轻视。哈克图解是很有用的,它在提供新知识、组织实践检验、确定实践结果的意义等方面有着不可或缺的作用。但这并不表明它在检验真理的问题上能起“决定性”的作用,因为在确定认识与对象之间是否符合这一点上,“裁判”并不是逻辑而是实践。

我们研究花岗岩,如果野外情况不清楚,岩体之间的关系不清楚,它们是否同源的、同期的也不清楚,光依靠哈克图解是不能决定结论的真伪的。因为,没有经过实践检验的真理说不上是否真理。

实践是检验真理的唯一标准,由哈克图解得出的结论没有经过实践的检验不能成为真理,这是最基本、最简单的道理。希望本文能促使研究者们做到理论联系实际,真正用好花岗岩的哈克图解,进而推动花岗岩研究的深入进行。

致谢 感谢审稿人对本文的评论,文中按照审稿意见做了适当的修改。

## References

- Ajaji T, Weis D, Giret A, *et al.* 1998. Coeval potassic and sodic calc-alkaline series in the post-collisional Hercynian Tanncherfi intrusive complex, northeastern Morocco: geochemical, isotopic and geochronological evidenced [J]. *Lithos*, 45: 371~393.
- Trumbulla R B, Wittenbrink, R, Hahne K, *et al.* 1999. Evidence for Late Miocene to Recent contamination of arc andesites by crustal melts in the Chilean Andes (25~26°S) and its geodynamic implications [J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 12: 135~155.
- Varekamp J C, Hesse A and Mandeville C W. 2010. Back-arc basalts from the Loncopue graben (Province of Neuquen, Argentina) [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 197: 313~328.
- Wang Q, Wyman D A, Xu J F, *et al.* 2007. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie complex, central China: implications for partial melting and delamination of thickened lower crust [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71: 2 609~2 636.
- Zhang Qi. 2012. Fractionation and evolution of granitic magmas can do? [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(2): 252~260.
- Zhang Qi, Pan Guoqiang, Li Chengdong, *et al.* 2007. Does fractional crystallization occur in granitic magma?—some crucial questions on granite study (2) [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 1 239~1 251 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Xiong Xiaolin, *et al.* 2008. Adakite and Granite: Challenge and Opportunity [M]. Beijing: China Land Press (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 张旗. 2012. 花岗岩岩浆能够分异和演化吗? [J]. *岩石矿物学杂志*, 31(2): 252~260.
- 张旗, 潘国强, 李承东, 等. 2007. 花岗岩结晶分离作用问题——关于花岗岩研究的思考之二 [J]. *岩石学报*, 23: 1 239~1 251.
- 张旗, 王焰, 熊小林, 等. 2008. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇 [M]. 北京: 中国大地出版社.