

元素本底值分级对地质研究及找矿的意义

章 振 根

(中国科学院贵阳地球化学研究所)

在地质地球化学研究和找矿实践中,元素的丰度或克拉克值是一种很重要的参数,具有极重要的意义。

元素的丰度或克拉克值系指某元素在地壳中的分布和平均含量,通常以ppm(百万分之一)或g/t(克/吨)表示。元素在地壳中的平均含量首先由F.W.Clarke(克拉克)测定,并于1889年第一次公布于世,后经多次修改并与H.S.Washington(华盛顿)一起于1924年再次发表了元素丰度表。该表是根据世界各地的5159个样品的化学分析数据,以算术平均法,按地壳厚度为16公里计算出地壳中50种分布较广元素的平均含量。其后,为表彰克拉克在这一领域中的研究成果,将元素在地壳中的平均含量值(或丰度)命名为克拉克值。

鉴于克拉克值对地质地球化学研究的重要性,以及科学发展和各种测试仪器的不断改进,许多地球化学研究者在克拉克和华盛顿(1924)之后,相继发表了各自的克拉克值表,举其重要者有:费尔斯曼(A.E.Ферсман, 1933~1939),戈尔德施密特(V.M.Goldschmidt, 1937),维诺格拉多夫(A.П.Виноградов, 1949, 1962),泰勒(S.R.Taylor, 1964),苗松(Б.Мейсон, 1966)和魏杰波尔(К.Г.Ведеполь, 1967)等等。此后,元素克拉克值的研究继续向纵深方向发展,并在1960年代达到了高潮。此间,报道了按岩类划分的克拉克值表,发表了大气圈、水圈、土壤、生命物质以及陨石中的元素丰度表,各作者及其所公布的克拉克值表,均可在地球化学手册或有关著作中查得,故无需在此列举。

虽然这些研究对地质地球化学研究和实际应用,都作出了很大的贡献,但人们也发现,已有

的各种克拉克值表,不仅各家的差别较大,而且同一作者不同年代发表的数据也不相同。例如,有些元素的克拉克值各作者之间的差别可达一个数量级(如1~18号元素),有些则为几倍,因此,在利用这些数据时必然会发生困难,只能按选用者各自的经验决定取舍,形成各取所需的局面。由此,至少可以得出两点认识:第一,元素克拉克值的研究仍需继续进行,以便使各家的数值渐趋接近或一致;第二,应提出一种为国际所公认的统一克拉克值标准参考表,供各国有关研究者参考。当然,这两项工作都是困难的,但总会逐步获得解决。

在没有国际公认的统一克拉克值标准情况下,在众多的克拉克值表中,我们将选用维诺格拉多夫的数据,其原因是:(1)维氏的研究范围较全面,包括了对岩石圈、大气圈、水圈、各类岩石、地球生命物质、土壤和地表植物等的克拉克值研究;(2)他研究的时间较长(50~70年代),在此期间各项分析测试手段日趋完善,故数据相对可靠;(3)我国许多地质地球化学工作者均引用维氏的数据,这样可便于彼此进行对照。因此,本文讨论的各种克拉克值,均以维诺格拉多夫1962年公布的数据为准,不再在各表格中注明。

本文的目的,是企图探讨本底值的分级对地质地球化学研究及其在实际应用中的可能性和可行性。

在地质文献中,经常有这样的描述:某元素在地层中的含量为 n ppm,比克拉克值高(或低) m 倍;或者,某元素在某岩类(如花岗岩)中的含量是 x ppm,比平均酸性岩浆岩高(或低) y 倍,等等,其中的 n , m , x , y ,可以是整数或小数。当 n , x 比 m , y 大于(或小于)

10倍或一位数以上时,则描述为 n , x 比 m , y 高(或低)一个数量级,依此类推。这样,人们可以得到一种定量的概念,知道被研究区(或岩类)中的某元素含量是多少,这当然是一种非常重要的信息。但是,这种信息究竟意味着什么?它对地质地球化学研究和找矿起什么作用?人们无法确定。因此,在实际工作中就出现两种现象(或方法):第一种现象是,例如在某地层中已知有某种(或几种)矿床,在研究该地层时得知该种或几种元素的含量较克拉克值高多少倍,于是解释认为该地层是这种(或这些)元素的含矿层。这种方法是由已知事实来解释为什么。又如,当某种花岗岩与地层接触时,在外接触带找到具工业意义的矿床,而该成矿元素在地层中的含量并不高,但在花岗岩中则很高,如比克拉克值高1~2个数量级,由此解释说明,成矿元素是由花岗岩提供的,其所用的方法与上例相同。第二种现象是,在区测、普查或化探时,已知有某种(或几种)元素的异常,但又难以断定这种异常是否有价值,要不要做进一步的工作或者动用工程,能否发现矿床。这是由已知现象来推测未知事实的方法。这两种现象都向我们表明,迫切需要对所获得的本底值进行处理,然后赋予其特定的含义,这对地质地球化学研究、找矿实践和远景评价是具重要意义的。

首先,应对本文所使用的“本底值”一词进行定义。本底值系指在一定地区或地段中某元素的平均含量。或者,是指该地区某一岩类(包括沉积岩类、变质岩类、岩浆岩类及火山岩类)中的某元素的平均含量。本底值与克拉克值之比,或本底值除以克拉克值所得的商,则称为倍数,倍数可正可负。

据此,我们可将所测得的本底值划分为两类八级,其名称和含义等列于表1。

第一类 高于克拉克值的

1. *D*级:其元素含量高于克拉克值的1~3倍,称为*D*级或本底级的含量。基本而言,在该地区或岩类中不可能富集成矿或难以成矿,因为属于*D*级含量的元素,其数值基本上在各家所提出的克拉克值的范围以内,加上各种原因所造成

元素本底值分类分级表 表1

类别	分 级	与克拉克值相比的倍数	名 称	在某地区或岩类中该元素含量对成矿的主要含义
高于克拉克值的	<i>D</i> 级	> 1 ~ 3 倍	本底级	一般含量地区或岩类
	<i>C</i> 级	> 3 ~ 5 倍	稍高级	可能有希望的地区或岩类
	<i>B</i> 级	> 5 ~ 10 倍	高 级	有远景的地区或岩类
	<i>A</i> 级	> 10 倍以上	超高级	最有远景的地区或岩类
低于克拉克值的	- <i>D</i> 级	< 1 ~ 3 倍	负本底级	一般缺乏的地区或岩类
	- <i>C</i> 级	< 3 ~ 5 倍	稍低级	缺乏的地区或岩类
	- <i>B</i> 级	< 5 ~ 10 倍	低 级	很缺乏的地区或岩类
	- <i>A</i> 级	< 10 倍以上	超低级	极缺乏的地区或岩类

的误差,因此当所测得的元素含量比克拉克值高1~3倍时,可以把它看成是本底值,如无特殊需要可不必在该异常区进行工程。

2. *C*级:其元素含量高于克拉克值的3~5倍,称为*C*级或稍高级的含量。在一般情况下不易成矿,但在特定的地质环境条件下有可能成矿。因为它的含量基本上是介于克拉克值或稍高于克拉克值的范围,故在该异常区可作适当的进一步探索,以便确定更有利的地段。

3. *B*级:其元素含量比克拉克值高5~10倍,称为*B*级或高级含量。在通常情况下,具有*B*级含量的地区已有成矿的条件,故在这种地区或岩类中,有希望找到有关的矿化或矿体,因此,只要条件许可,就应对这类异常区段或岩类,作进一步的研究或进行一定的工程验证。

4. *A*级:其元素含量高出克拉克值的10倍或一个数量级以上,称为*A*级或超高级含量。一般而言,具有*A*级含量的异常区段或岩类,是最有希望的含矿区段或岩类,其中可能存在有隐伏矿体,或者其本身就是矿体,例如斑岩类铜矿和有些基性或超基性岩中的铜镍矿和铂族元素矿等。

所以,对A类含量区或岩体有必要进行工程验证,特别是对贵金属更应如此。

第二类 低于克拉克值的

本类的划分与上面的划分相对应,也分为4级,即:

1. - D级: 其元素含量低于克拉克值的1~3倍,称为负D级或负本底级含量。即某元素的含量在某地区或岩类中虽然低于克拉克值的1~3倍,但仍可视为是在各家所测定的克拉克值的误差范围以内。因为在比较已发表的各家克拉克值后可以看出,取其误差为±1~3倍是合理的。

2. - C级: 其元素含量低于克拉克值的3~5倍,称为负C级或稍低级含量。具有该含量的地区或岩类中,缺乏某种应该具有的元素。

3. - B级: 其元素含量比克拉克值低5~10倍,称为负B级或低级含量。表明在该地区或岩类中很缺乏应出现的被测元素。

4. - A级: 当元素含量低于克拉克值的10倍或一个数量级以上时,称为负A级或超低级含量。具有该含量的地区或岩类其被测元素是极缺乏的。

在实际研究和文献中,多数是涉及高于克拉克值的,极少有人提到低于克拉克值,因此第二类中的资料比较难于获得。但也有少数例外,比如,在对稀土和某些同位素的研究中,常能见到“销亏损”或“氩丢失”这样的报道,说明已注

意到了某些元素是低于克拉克值(或低于标准含量)。即使如此,对于亏损或丢失的数量同样也未进行分级,所以也未能指出这些亏损或丢失的多少究竟意味着什么。我们以为亏损或丢失的数量肯定会具有特定的地质意义,对这些数量进行分级或许能总结出它们所具有的地质含意,这一任务最好是留给有关的研究者去考虑了。

由此可以建议,研究低于克拉克值的问题应该引起一定的注意。它可以提醒人们去思考,为什么这种(或这些)元素在该地区或岩类中会缺乏,是由于在其周围已进行了富集,是由于极高度的分散,或是伴随其他元素进行了迁移,等等。本文把低于克拉克值的也分为四级,或许有助于元素为什么会分散或缺乏的研究。当然,在实际工作中,研究富集规律的人多,而研究分散(或缺乏)规律的几乎没有,但是,从反面研究问题至少可以作为正面研究的一种佐证,所以也是值得提倡的。

下面,将根据上述的分级表,按已研究过的地区、岩类和矿床,选取一些实例作为对该表的进一步说明和探索性的验证。

例一 广西大厂锡矿田 我们对该矿田已测定有30余元素的含量,但其中许多元素如铟、镓、锗、镉等是用单矿物做的,有些是常量元素如Al, Fe, Ca, Mg, Mn等等,所以只选用Sn, W, Cu, Pb, Zn和Sb等6种成矿元素的含量与克拉克值进行对比,并按表1进行分级,验证

大厂矿田主要成矿元素的含量(ppm)及分级

表2

岩类岩或地 层	Sn		W		Sb		Cu		Pb		Zn	
	含 量	分 级	含 量	分 级	含 量	分 级	含 量	分 级	含 量	分 级	含 量	分 级
黑云母花岗岩	61(11)	A	153(7)	A			81(11)	C	28(11)	D	—	
花 岗 岩	30(3)	A	107(3)	A			2.3(3)	-B	100(3)	C~B	330(1)	B
斑状花岗岩	100(3)	A	—				5.7(3)	-C	10(3)	-D		
三 叠 纪	0(1)	-D			228(1)	A	35(1)	-D	15(1)	-D	58(1)	-D
石 炭 纪	30(1)	A			200(1)	A	14(1)	-D	16(1)	D	21(1)	-C
泥盆纪近矿	41(1)	A			215(1)	A	37(1)	-C	22(1)	D	270(1)	C
泥盆纪远矿	36(1)	A			155(1)	A	24(1)	-D	20(1)	D	39(1)	-D
克拉	酸性岩	3			0.26		20		20		60	
克值	地 壳	2.5			0.5		47		16		83	

括号内为分析数(资料来源:本文作者等,1982)

其与成矿的关系, 结果列于表 2。

表 2 说明: (1) 大厂地区的 Sn 含量, 在花岗岩类和在泥盆纪及石炭纪地层中均属 A 级, 是最有希望的岩类和地层。目前已知主要 Sn 矿体仅见于泥盆纪地层, 如若该区的石炭纪地层也被花岗岩类侵入, 则可望出现矿体。(2) W 含量在黑云母花岗岩和花岗岩中为 A 级, 所以尽管该区的钨矿发现不多 (主要在“五一矿”附近), 但仍有望发现与这两种花岗岩有关的钨矿体。(3) Sb 的测定仅限于地层, 这些数据显示出在各时代地层中的 Sb 含量均为 A 级, 因此, 除已知泥盆纪地层中的锑矿床外, 在石炭纪和三叠纪地层中有可能发现锑矿体。(4) Cu 含量在地层中为 -D 级和 -C 级, 说明 Cu 在地层中是一般缺乏的。它在斑状花岗岩和花岗岩中也是缺乏和很缺乏的, 唯一可能的供给者是黑云母花岗岩, 因此, 铜矿床的出现必然与这种花岗岩有关。(5) Pb 在三叠纪地层和斑状花岗岩石中的含量均为 -D 级, 而在其余时代的地层和黑云母花岗岩中是 D 级, 最可能的供给者是花岗岩 (C~B 级)。大厂地区的方铅矿不多, 但硫盐类矿物很发育, 可能是大量的辉锑矿与少量方铅矿的混合形成有关。(6) Zn 在地层中基本为 -D 级和 -C 级, 只有在泥盆纪近矿围岩中为 C 级, 在花岗岩中为 B 级, 故可能是由花岗岩和泥盆纪近矿围岩共同提供, 以前者为主而形成锌矿。

例二 江西钨锡矿 江西钨锡矿产地较多, 现选取某些岩体和主要地层作为实例分析, 数据

江西某些矿床的花岗岩
及地层中 W, Sn 含量及分级 表 3

花岗岩及地层 名称 纪	Sn		W	
	含量 (ppm)	分级	含量 (ppm)	分级
黑云母花岗岩	28	B	200	A
二云母花岗岩	106	A	900	A
震旦纪地层	19.3	B	9.2	B
寒武纪地层	15.8	B	16.1	A
泥盆纪地层	6.0	D	14	A
克拉克值 (ppm)	酸性岩 地壳	3	1.5	
		2.5	1.3	

(据江西省地质局区测队及地研所资料整理)

资料系根据江西省地质局区测队及地研所, 其 W, Sn 含量和分级结果列于表 3。

表中, 黑云母花岗岩的样品采自大阜岩体、张天堂岩体和蒙山岩体, 二云母花岗岩为西坑岩体。地层样品为赣南和赣东北的平均值。从表 3 看出, W 含量在花岗岩类及地层中 (震旦系除外) 均为 A 级, 其中又以二云母花岗岩及寒武系为最好。Sn 含量从总趋势看是低于 W 含量, 仅在二云母花岗岩中达到 A 级。因此可以推想, 当在这些地区中成矿时, 应以 W 占主导地位, Sn 是次要的。也就是说, 这些地区可以出现 W, Sn 共生以 W 为主的矿床类型。

例三 云南及四川的锡矿 据《地质与勘探》1883 年第 6 期的资料, 对川、滇地区的 17 个含矿岩体进行分级, 其中, Sn 含量为 D 级的有 3 个 (白炮台、龙叉河及团山老), C 级的是 4 个 (马松、松树脚、卡房和大坝), B 级的有 4 个 (老卡、神仙水、田冲和九道湾), A 级的是 6 个, 它们是老厂、白虎山、摩沙营、大龙洞、云龙和泸沽。由此分析, 可以考虑在其他地质条件有利时, 对 A 级含量的岩体及其周围加强工作, 以期找出新的成矿有利地段或矿体。在 B 级含量的岩体附近, 也可作进一步的研究。

此外, 云龙地区 3 个混合岩的平均 Sn 含量是 A 级, 而混合花岗岩为 B 级, 两相比较, 则应将注意力集中于混合岩中的找矿, 特别是均质混合岩中的找矿。

本实例说明, 当有许多地区或岩类具有高于

湘西 W—Sb—Au 矿床
各岩类中的元素含量分级 表 4

地层 时代	岩类	元素本底值分级			
		W	Au	Sn	Mo
板 溪 群	板岩类	B 级 (60)	A 级 (49)	D 级 (3)	D 级 (60)
	碳酸盐类	B 级 (11)	A 级 (5)	D 级 (2)	D 级 (11)
	砂岩类	D 级 (20)	A 级 (20)	D 级 (11)	-D 级 (20)
克拉克值, 地壳 (ppm)		1.3	0.0043	2.5	1.1

括号内为样品分析数 (据万嘉敏硕士论文数据分级)

克拉克值的含量时，应用本底值分级的方法，可先将含量分级，然后从中优选出最佳地区或岩类，便于下一步的工作进行，达到快速和经济的目的。

例四 湘西层控W—Sb—Au矿床 矿床产于板溪群紫红色及灰色板岩所夹之碳酸岩透镜体中，属于典型的层控矿床。本实例的数据资料取自万嘉敏同志的硕士论文，因其尚未公开刊出，故仅将其有关元素含量的分级列于表4。

该表明显地指出，W含量在板岩类和碳酸盐类中为B级，在砂岩类中为D级。Au含量在表的三种岩类中均属A级。Sn和Mo含量则均为D级，其中Mo含量在砂岩类中是—D级。这些资料和分级如实地反映了当地的实际，因该区的矿床是以白钨为主，Au可综合回收，或者以Au为主，W可综合利用。对W来说，板岩类和碳酸

盐类均可作为其矿源层看待，但其产出则主要与碳酸盐岩有关。关于Au矿，以往较注重于板岩类和碳酸盐类，不太注意砂岩类，但表4的材料说明，在砂岩类中寻找Au矿，是本区不可忽视的一项重要工作，应引起特别的注意。Sb的含量在本表中并未列出，有关数据可从表5中获得，其分级范畴是属B级。

例五 层控Sb, Hg矿床 本实例取材于涂光炽等著(1984)的“中国层控矿床地球化学”第一卷，对Sb, Hg含量的分级结果示于表5。表中所列18个矿床区中的Sb, Hg含量除3个为B级外，其余的15个均为A级。因此，这些矿床区中的有关层位已可基本肯定是所在矿床的矿源层或含矿层。

除上述各实例以外，还可举出许多类似的例子，但我们以为，从以上实例已能基本说明本底

中国主要层控Sb、Hg矿床赋矿层位及在部份围岩中的本底值和分级

表5

层控锑矿床					层控汞矿床				
矿床名称	地层	含量 (ppm)	相当克拉克值的倍数	分级	矿床名称	地层	含量 (ppm)	相当克拉克值的倍数	分级
锡矿山	D ₁	10	20	A	交黎	O ₁	12	145	A
睛隆	P ₂	22	44	A	丹寨	Є ₁	4.3	52	A
苗龙	Є ₂	7	14	A	益兰	D ₁	5.7	69	A
龙头山	D ₂	4	8	B	务川	Є ₁	6	72	A
大燕	D ₁	6	12	A	公馆	D ₁	7	80	A
半坡	D ₁	4	8	B	万山	Є ₂	7	80	A
徐家山	Z	16	32	A	大洞喇	Є ₂	12	144	A
方山	Z	7	14	A	大园	O ₁	2	24	A
湘西	P ₂	4	8	B	秀山	Є ₁	5	60	A
地壳克拉克值		0.5			地壳克拉克值		0.083		

(据涂光炽等, 1984)

值的分级对地球化学研究和找矿应用的意义，故无需再一一列举。

本底值的分级只是一种尝试，肯定会有不足之处，例如当本底值大于克拉克值的10倍以上时，是否还要按数量级的大小再划分出A₁级或A₂级等等，是可以继续进行讨论的，更需要根据已有的实际资料作出总结。

在结束本文之前，想要强调说明的是，地质研究中的任何一种方法或思想，决不能是无所不

包和万能的，每一方法或思想虽有其适用性，也有其局限性，故必须进行综合考虑，始能解决地质上的某一问题。所以，本分类方案的应用，也必需考虑各方面的因素，尤其是要结合当地的地质环境，综合利用诸多的条件，才可获得较为满意的结果。

敬希各位同行专家对本方案提出批评指正的宝贵意见。