

野外放射测量的地球化学原理

(参 考 资 料)

现在能发现和测量放射线的仪器灵敏度极高,按理说用来便能够很简单地在天然条件下发现铀矿床和铀的异常富集,以及进行取样分析等。

确实放射性超常的地段(或按通称,即放射性异常)的发现,常导致铀矿床的发现。往往,放射性测量法能很有效地代替昂贵而又费时的样品化学分析,能够很好地组织矿石质量的放射测量检查以及进行矿石的放射测量法分选与选矿。然而,往往也有另一种情况。当异常被揭露之后不仅找不到铀矿床和呈矿现象,甚至一点铀矿的异常富集的标志也找不到,还有一些令人更为费心的情况,在矿床的露头部分上没有发现异常,而脉状矿带的基岩露头的放射强度值反倒比围岩还低。很自然,这些事实在实际中引起了一系列的问题。这都是怎么回事?是否能够预料它们呢?在我们工作的方法上和野外放射测量资料的解释方面是否有什么缺陷?

关于所列举的问题以及和这些问题有联系的其他问题的答案,已经属于有关氧化带的学说、放射学、放射测量学、地球化学和化学的范畴了。为了要获得这个答案,也必须专门作一番研究。因此在本文中按一定的程序简短地引用一些属于这类范畴的资料,提到和讲述一些通晓的概念以及在专门研究中所得到的某些成果。

现在,我们假设有一条刚刚形成的非晶质铀矿成分的透镜状胶体。铀原子按原子量应该有不同的几种。铀原子的主要部分(99%)将为 ${}_{92}\text{U}^{238}$ (UI),次之(0.7%)便是原子 ${}_{92}\text{U}^{235}$ (AcU)。有充分理由认为,在上述的物质中同样也含有原子 ${}_{92}\text{U}^{234}$ (UII)和含有 ${}_{92}\text{U}^{238}$ 的后代放射性元素(见图1)。过一个时间之后,胶体将会衰老、脱水、凝集以致渐渐地晶出。胶体成分中铀也逐渐衰变。由于衰变的结果,很清楚,依次连续产生的放射性元素形成了两个放射系:一个是由于18个元素组成的铀(U^{238})系;一个由14个元素组成的钍(U^{235})系。这两系的最终的放射性元素 RaF 与 RaE' 以及 AcC' 与 AcC'', 衰变为稳定的非放射性元素铅的同位素,各为 Pb^{206} (RaG) 和 Pb^{207} (AcD)。如果这个非晶质铀矿没有受到任何化学和物理作用的破坏,即没有受到次生作用的影响,那么其中各系的各种后代放射性元素(从属元素)的数量将逐渐增多。这种增多的情况,一直将保持到每个后代元素在单位时间内所形成的原子数量同它们衰变的原子数量平衡时为止。达到这种状态之后,即大家所熟悉的放射性平衡形成之后,每个放射系的单独一对原子之间的重量比或原子比的数值将是固定的,而每一对原子将有各自的比值。例如 Ra/U 的比值等于 3.4×10^{-7} , $\text{I}_0/\text{U} = 1.8 \times 10^{-5}$; $\text{Ra}/\text{I}_0 = 1.89 \times 10^{-2}$ 等等。

如果从在单个的原子之间的数量比这方面来看这种动平衡的话,那么当这种动平衡到来之后,放射性衰变将表现母体物质(U^{238} 和 U^{235})的原始数量在减少和各放射系最终稳定的(非放射性的)成分(Pb^{206} 和 Pb^{207})在积累。此时,氦的气体元素自然也一直在积累,因为两个放射系的很多元素在衰变中放出 α 粒子,氦也就产生了。

非晶质铀矿中母体物质(U^{238} 和 U^{235})减少的数量和氦与铅的同位素积累的数量应当由放射性衰变的久暂决定,就是由非晶质铀矿的年代来决定。这种情况,可以用来确定放射性矿物的“绝对年代”了。

真(稳定的)平衡的条件以下式表示:

$$N_0\lambda_0 = N_1\lambda_1 = \dots = N_n\lambda_n = \text{常数},$$

式中: N_0, N_1, \dots, N_n ——放射系中諸成分依次的原子序数.

$\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_n$ ——它們的轉变常数.

現在我們再来看看,如果这条放射性平衡的非晶質鈾矿透鏡体受到次生作用时,将起何种变化.在上述非晶質鈾矿透鏡体生成过程中,那些与岩浆活动或与区域变质作用有关的次生作用,对于野外放射性测量來說,似乎沒有特殊的意义.因此,我們主要来談談表生作用的影响,我們集中地注意矿物体的非晶質鈾矿, U^{235} 及其所有的后代放射性元素的含量很微小,因而在研究野外放射测量的实际問題时,对这一放射系的元素一般可以不予注意.但是,需要时,如果对該放射系元素也进行类似的研究,将对野外放射測量問題提供补充的說明,并且对确定絕對地質年代也会有重要的意义.

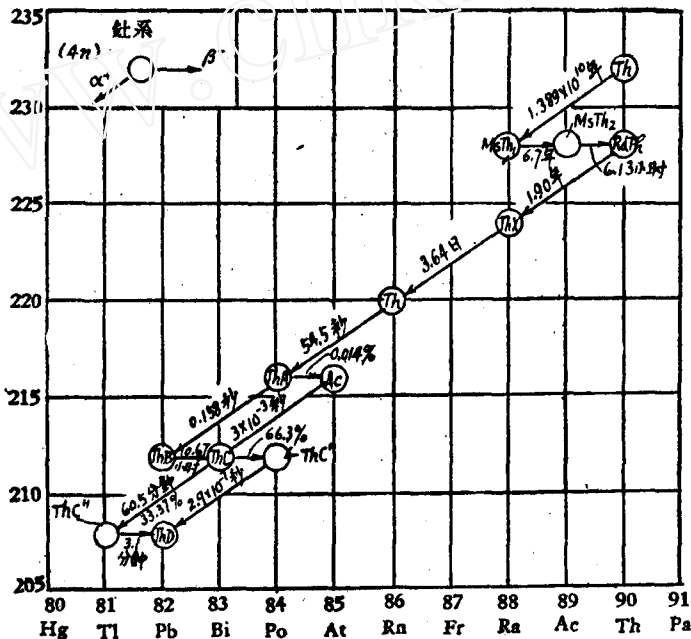


图1丙 鈾系的放射性蜕变图

对各种鈾矿床——脉状和层状(煤、粘土等)——多方面的研究經驗证明了,在表生带以及在地下水常年或暂时饱和带中,非晶質鈾矿在逐渐破坏,同时放射性平衡也在破坏,这种破坏經常被視作为放射性元素进入非晶質鈾矿或从中析出的結果,或者簡言之,即为放射元素迁徙的結果.在一般实践中,放射性平衡存在与否,是根据鐳和鈾的重量比值来决定的.如前所述,在平衡时这一比值为 3.4×10^{-7} .为了便于比較 Ra/U 的比值(放射系其他任何一对放射性元素之間的比值也是如此),一般是用它們的比值与平衡时的比值相比的百分率表示,并称之为放射平衡位移系数.用这一方法表示时,放射性平衡时的比值应为100%.

鈾与鐳之間的重量比值具有很大的意义,但还不够全面,它不能說明其形成之原因,因而也沒有正确解释地質作用的本质.它对这种现象只加証实,而未予說明.我們先談这些比值为为什么重要,然后,再談为什么还不够全面.这两点在讲到后面时,也要提到.

在实践中之所以有必要确定 Ra/U 比值,是基于目前野外放射测量的方法所决定的.大家知道,野外放射性測量主要利用的是放射性物質的射綫.这就是說,野外放射性測量仅能发现 RaB ($_{88}Pb^{214}$) 和 RaC ($_{83}Bi^{214}$) 等的所在地.鈾本身和鈾的数量是用間接方法推算的,但其后代元素包括 RaC 和 RaB 要全部存在,并且一定要比例平衡.在鈾系中,自鈾($_{92}U^{238}$)起至鐳止,严

格說到氡为止的各个元素的缺失现象,实际上我們在野外用仪器是不能发觉的。因此,当我们发现了 γ 异常以后,經常采集样品进行分析,其目的便是要了解是否有铀存在,以及铀与镭的重量比值如何。假如比值平衡的话,那么根据 γ 射线强度,象大家所知,就能立即断定铀的含量。假如比值不平衡的话,那必须加入相应的修正数,或采用特制的标准源,或将 γ 仪器的分度作相应改变等。假如“异常”根本没有铀,或者没有铀和镭,那当然, Ra/U 比值的意义也就失掉了。

每种放射性元素都各有独具的 γ 射线的量子能,所以看来铀或其他放射性元素可以用 γ 能谱仪找出来。但是,这种方法在野外条件下还不够简单完备,这是一方面;另一方面,在普查中那些仅由镭或氡等所形成的异常是否有可能利用的问题,还没有解决。

为什么我们的 γ 仪器只能指出 RaB 和 RaC 的所在地,而这些发现有何实际意义呢?大家知道,装有充气计数管的仪器接受上述元素射出的 γ 射线,约占整个平衡的铀系 γ 射线总量的96%,装有闪烁计数管的仪器接受 γ 射线——约占91%。这两种元素的半衰期短暂,各为26.8和19.7分钟。它们终究又是由于 RaA($_{88}\text{Po}^{218}$)放射性衰变的结果形成的,而镭A本身是由氡衰变而来并且半衰期也很短(3.05分钟),因此可以正确地确定,我们测量 γ 射线,就能发现氡气的所在地。氡,大家知道,是一种气体,化学性质不活泼的物质。这些特点有利于氡从品质铀矿,特别是从破碎(多空隙)的矿中排出。大家还知道,岩矿的射气扩散系数可达95—98%。氡迁徙的远近,决定于本身移动的速度和寿命的长短(半衰期的十倍值,等于 10×3.825 天)。根据氡气在岩石破裂带、疏松浮土和地下水条件下所具有的速度来看,在30—40昼夜内它可移离母体(即镭)所在地的距离并不很远。大量氡远离镭的情况,只有在生成地的附近,氡遇到了流动速度很大的上升地下水与下降地下水,或遇到了联通着地表的开口裂隙才会发生。据上述可以得出结论,用辐射计能发现的,不外乎或者是镭的富集地段,或仅是氡的富集地段。我们所遇到的情况将是其中那一种呢?这个问题,只有在从“异常”采集样品,作出相应分析之后,才能求得解决。此时应该注意,在第一种情况下,镭的富集地段的范围必小于氡的富集地段,同时前者应该位于后者范围之内。可见如果引起放射性的原因,仅因氡之存在,那么对于这一异常,如何确定它的母体镭的所在地,就必须借助于地质方法,必须熟悉氡迁徙的标志。举个例子,富氡(达1000麦赫*)的下降地下水在流出地表时,其离开镭超常富集的地点,即离开水中的镭的发源地的距离会有好几十米。

确定出镭超常富集之后,我们也往往会发现超常富集的铀之所在。但在另一种情况下,可能没有铀。为了说明后一种提法的现实性,可以例举含镭(含量达 $n \cdot 10^{-10}$ 克/升)而不含铀的上升地下水(热液)、含镭钙华、北投石(Ba, Pb, Ra)SO₄,放射性重晶石,放射性萤石和其他许许多多的天然矿化产物。

在镭超常富集地区是否有铀,解决这个问题正如前面所述,需要在“异常”采取样品作出相应的分析。假若没有铀,则对这种由镭引起的异常便只有用地质方法才能查到铀的所在地了。所以这种情况与氡、镭同在的情况一样,又必须熟悉迁徙的标志,但这就不仅仅是一个镭的迁徙标志了,还有镭与铀的。

现在我们来解释一下,为什么确定了一个 Ra/U 比值,对说明这两元素的命运还不够呢?(对其他元素更谈不上够了。)

除了上述镭与铀比值所具有狭小的起码作用外,按比值大小似乎还可以判断铀和镭的状态。譬如镭对铀的比值大于100%,则似乎可以推断出,铀大量析出或者是镭大量吸入。在比值小于100%时,看来也可以作出相反的推断或者可以认为镭和铀还未达到平衡。我们按 Ra/U

* 按1麦赫=3.64爱曼=3.64 $\times 10^{-10}$ 居里/升。

比值作的推断不是肯定的,因为我们知道,铀与镭在一定的条件下都可能是游动元素,并且各有独具的溶解和沉淀规律。除了没有定论之外,每种推断又可能不确实。假如镭是直接由铀生成的,或者铀到镭之间只有寿命很短的放射性元素的话,那么这些推断也就确实了,可是实际上,铀和镭之间所有的五个放射性元素之中三个(${}_{90}\text{Th}^{234}/(\text{UX}_1)$)和两个同质异构体 ${}_{91}\text{Pa}^{234}$ (UX_2 和 UZ)寿命较短(半衰期由1.14分至24.1日),当然这些元素的意义不大。另外的二个元素: ${}_{92}\text{U}^{234}(\text{UII})$ 和 ${}_{90}\text{Th}^{230}(\text{I}_0)$ 它们的半衰期就长了,各为 3×10^5 年和 8.3×10^4 年。前者是铀的同位素,在我们已知的地质过程中,它未必能与铀分开。特别是天然物质中的铀的同位素的数量比值常被取为常数,即 $\text{U}^{238}:\text{U}^{235}:\text{U}^{234} = 1:1/140:1/17000$ 。镭(${}_{88}\text{Ra}^{226}$)的情形完全两样。它是铀的同位素。按化学及物理化学性质,它与铀,特别是与六价铀有大的区别。因此,在许多自然作用下,特别是在伴有铀矿物溶解和与四价铀发生氧化反应的各种作用下,由铀生成的镭和铀本身的命运是不同的。在许多情况下,这两种元素不可避免地会彼此分开,会在不同条件下以不同的数量比转入溶液。当它们由溶液中重新沉淀出来时,各有自己独特的规律,由于不同的原因,亦即不同的数量比,有时甚至地点也各有不同。镭与铀能够分离开,镭在海相沉积中有超常的富集,便是这一点的证明。在海相沉积的上部,发现镭的数量较高,比保持与其中的铀呈放射性平衡所必需的数量高10—20倍。可见,镭与铀从溶液(海水)中沉淀的数量是不同的。没有镭和铀,铀也可能富集。关于这一点,特别是所谓次生铀矿物的生成便可证明。目前已知在铀的磷酸盐和矽酸盐中几乎不含镭和钍,或者含量极小,与铀达不到平衡。

发现镭不含铀的例子已经谈过。这些例子说明,镭有自己独特的规律,能够离开铀和钍单独地迁徙到很远的地方,并且能自己独立地沉淀出。这也很清楚,因为二价镭的化学性质同四价钍和四价—六价的铀区别很大。

铀和镭都具有游动性(活动性),这一点本身就要求注意到两种元素在自然条件下必定会分离,要求考虑到它们有可能单独超常富集。镭迁徙的可能性的查明,更加强了刚刚所作出的结论的重要性。由此可见,判断元素在矿物或者在其他矿化物中发生什么变动,很重要的是要把几个比值同时考虑,定出镭对铀的比值同时也定出钍对铀的比值和一个镭对钍的补充比值。这个比值很好求,假如第一和第二比值是用百分比来表示的话,那末简单地把前一个用第二个除一个,再乘上100就可以求出。举前面的例子来说,镭对铀的比值小于100%。假如此时钍和铀的比值大于100%,而镭对钍的比值小于100%或者小于镭对铀的比值,那末可以说,在这样情况下铀与镭都被析出,而且析出的镭比铀多。认为铀与镭之间未达到放射性平衡的推断就没有根据了。

再来看一个例子。镭与铀的比值为100%。在这种情况下本可以推断,铀与镭未从异常中析出,可是事实上它们两者都可能有一部分析出,只是放射性比值平衡还保持着。求出钍对铀的比值,这个问题就解决了。假如在我们的异常里或在矿物里这个比值大于100%,那末可以认为,事实上这二个元素——铀与镭是部分析出了。

从上例中可以看出众所周知的真理:镭对铀的比值不能说明整个铀放射系的放射性衰变状况以及矿物中的镭和铀的命运。很可惜的是,钍对铀的比值及镭对钍的补充比值也有不足之处,它们不能判断铀、钍和镭在矿物和其他矿化产物中发生的变化。为了得出各种判断,还必须搞清所有的比值在时间上的变化的总趋势,亦即必需有地质矿物资料。这是有原因的,因为在一定的地质条件下,特别是在整个表生带内(而不仅是在氧化带内),所有上述的值 Ra/U ; I_0/U ; Ra/I_0 既反映放射性衰变过程的状态,同时又反映每个放射性元素的外界作用的不同影响在时间上的变化情况。换句话说,这些数值反映的是总的结果,并且是上述作用的一个复杂的函数。一种元素或另一种元素会从矿物中,或者任何一种其他天然矿化产物中依次地被析出。

确实,这种情况,或者各种元素的析出,由于条件变化而在时间上发生的不同的进度情况,以及其他原因,都会在放射性还未达到平衡时偶然在某个时间里,把留在矿物中的元素的数量之间的比例导至放射性平衡。而在放射性平衡时,它们又能把比例导至放射性不平衡。Ra/U 和 I₀/U 的这种比值,特别在刻槽样品或多金属矿物成分的样品中经常发现。我们把这种比值称为衰变过程的假值。在上述试样中,常会发现的不仅是放射性元素析出,还有吸入,由母体所因地不同角度发生的位移现象也同样常见。因此,对于放射性元素的迁徙情况及其结果,以及不同程度的放射性平衡的空间分布情况在利用 Ra/U 和 I₀/U 的比值加以研究的时候,必须有很多样品。并且这些样品要结合地质情况与矿物资料采取,而不能按几何形状与统计学规则采取。

外界原因只有在一种情况下能够影响 Ra/U 和 I₀/U 的比值,也就是如果这些原因是在第四纪内产生过或正在产生的。因为在铀的放射系中, I₀/U 和 Ra/U 达到平衡须要经过一个十倍于铀的半衰变期(10 × 8.3 × 10⁴年)的时间,也就是经过 83 万年,这是在比值误差为 0.1%;在误差不大于 3% 时,一定要经过铀的半衰期五倍的时间,就是大约要经过 42 万年。同时,在相同的误差下,镭和铀之间达到平衡大约要经过 16000 年和 8 千年(图1)。可见,如果铀矿是平衡的,并且未受到次生作用的影响,那么就可以说,铀矿物至少是在 50 万—60 万年以前生成的。如果该种铀矿物受到了次生作用,并且其放射性平衡因而遭到了破坏,那么可以说,这些作用是在 50 万—60 万年之内发生的,就是在第四纪的后半期了。

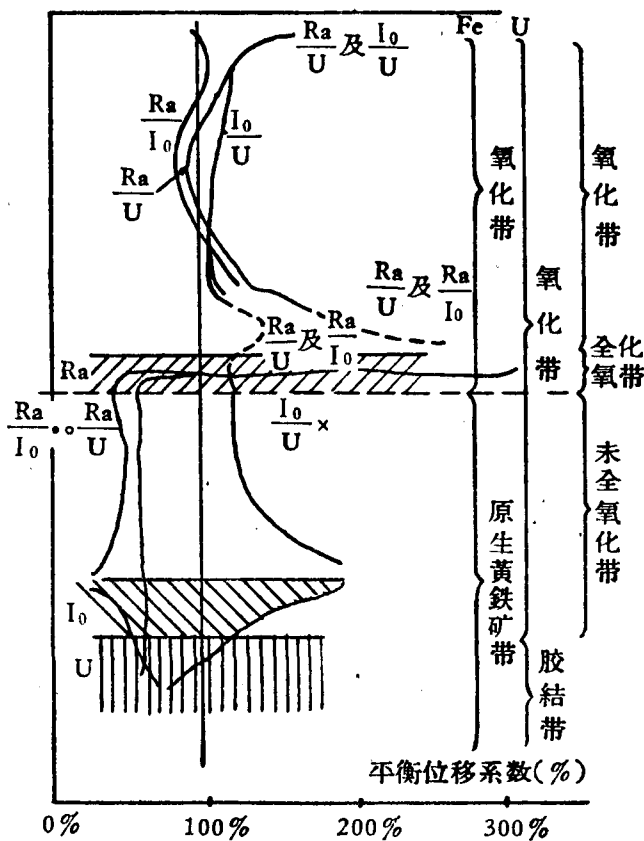


图2 平衡位移系数的变化

×: : 在一个再生铀黑标本内 I₀/U, Ra/U, Ra/I₀ 的放射性平衡位移系数

我们来谈谈,放射性平衡的铀矿与铀系放射性元素在表生带内发生什么变化。在谈这一点时,举一个做过此类研究的热液硫化物铀矿床为例。

矿床的脉状带位于花岗斑岩体中。原生矿石中,主要矿物为非晶质铀矿和水铀云母。此外,不断地遇到黄铁矿与胶黄铁矿。地下水的上水面相当深。水面以上是氧化得很透的氧化带。氧化带含工业铀矿石,为铀矽酸钙与铀矽酸铅(混在富化的泥质矿物中)、蒙德士、多水高岭土、高岭土及其他等。地下水面以下是胶结带。带内有铀黑和非晶质铀矿。非晶质铀矿愈往下愈完整。

在矿区中的两个邻近的地段,对遭受表生作用变质的上部测定了放射性平衡系数 Ra/U 和 I₀/U (也算出了 Ra/I₀ 的值)。在矿脉的各个中段以及次生铀矿物略有富集的围岩中,采取了刻槽样品约 5 公斤,做了样品分析。为了看起来方便,

今将各地段逐段求出的放射性平衡系数的平均值示于图 2。在图上纵坐标由上而下表示自地表的取样深度,横坐标由左至右表示平衡系数值。现把相应的点联成线,这样便能更好地观察系数值在垂向剖面上的变化趋势。

不用说了,矿区不同,系数的绝对值、表生带深度和其中的亚带深度当然也不同。图形因此也会有些差别。但是,根据对这些曲线图和地质矿物资料的分析来看,这里铀、镭和镭在非晶质沥青硫化物铀矿床的表生带内所保存的共同的规律,在一定程度上,对表生带与其它类似矿床是有代表性的。这点有已有的初步结果可证。再重复一遍,注意谈的是趋势而不是数量的表达。在数量上各个矿区肯定不同。

在图 2 上, Ra/U 和 I_0/U 系数的变化有着共同的特点,这很引人注意。这两个值在很深的地下与地表表面上似乎相同, Ra/I_0 的系数值因此等于 100%。地下与地面的差别是: 每种元素的绝对数量由下而上地大有减少,最后到克拉克值左右。此外,还有一点不同,系数值在地下等于 100%, 在地表大大多于 100%。不过 Ra/I_0 系数上下都等于 100%。在整个这个空间里,镭对铀的系数值看来通常要小于相应的 I_0/U 的系数。在矿区表生带的研究阶段内,两个系数基本稳定,在这个基础上又有两个地方有比较重大的偏高情形。我们已讲过了一个,这就是位于氧化带上部的地方,两种系数在这里都偏高。第二个情形两种系数偏高的位置不一。 I_0/U 的系数在胶结带上部偏高; Ra/U 的系数——位置略高些,在氧化带的下部,并且规模显然也比较大。就是在这个 Ra/U 系数偏高的区段里,我们所提到的共有的规律性破坏; Ra/U 的值逐渐大过于 I_0/U 系数。我不欲讲述这些曲线的细小的分析方法。只想提出注意一点,在表生带内同时发生几种作用:

甲、放射性衰变。由于这种作用,铀的后代放射性元素的质量不断地复活;

乙、某种放射性元素有若干量在一定地段带入;

丙、某种放射性元素有若干量在一定地段析出。

这样一来,这张图上的平衡系数变化曲线,都是这几种作用的影响结果的反映。

把曲线与地质矿物资料同时加以分析,结果对镭、铀和镭在风化带一个部分的矿体中的状态便可指出有下列的趋势:

(1) 所有的元素——铀、镭、镭——都从铀硫化物矿脉中析出,不过相互的数量和速度,在矿区垂向剖面的不同的深度上各不相同。自下而上,以镭析出的最早,铀次之,镭最晚。

(2) 镭在很深的原生矿带里便开始有若干析出。从原生矿物中,它似乎能析出得很深,直到地下水分布的地方。有事实可专门证明这点: 埋没得很深的地台结晶基底的上部所充之地下水中镭富集度超常,往往尚合于开采。象某些上升水(一般为高温的)中有镭的现象,无疑也是个证明。镭的析出现象,在整个表生带内皆见,独一处例外。此处即氧化带的下部狭窄的一条,它位于地下水的水面附近,谓之铀的全氧化亚带。这儿不仅是镭析出的较差,并且还由于氧化带上部有镭输送下来,故而形成镭的再富集亚带。

看来,在钻孔测井时,正是由于这个原因在亚带里记录到 γ 强度的极大的峰值。

在胶结带,镭析出的量大致与铀平衡。

在氧化带,镭自矿脉的析出,通常比其他两种元素多。矿脉以外,在氧化带扩散的次生铀矿物中,也是类似的趋势。

到了近地表,表生带的无铀矿物部分(淋蚀亚带),镭的析出方才较少于铀,大致和镭平衡。

(3) 铀开始析出的地方,大大高于镭开始析出的地带。这个地方也是铜在表生带内的典型的胶结带,实际上又是铁的二硫化物(黄铁矿、白铁矿)完全稳定的地方。看来,铀的析出始于铜胶结带的下半部。在这个区段之下,再生铀黑沉积,因为铀从高处带入。表生带的这个部

分,按理便可謂之鈾再富集带,或者胶結带。这样呢,鈾胶結带便在銅胶結带之下。

从鈾胶結带到地下水水面之間的区段,是胶結带的部分氧化、未全氧化的亚带。在这个亚带內,鈾和鐳从鈾矿脉中都有某些析出,并且两者之間似乎析出量接近平衡。

在氧化带內,从此往上,自矿脉中鈾都有析出。其析出的相对值达到最大的地方,便在地下水水面附近的氧化带的下面那个狭窄的部分。在鈾硫化矿床里,这儿发生鈾的全氧化($U^{+4} \rightarrow U^{+6}$)和銅与铁的硫化物中的硫的全氧化 $[(S_2)^{-2} \rightarrow S^{+6}]$ 以及发生非晶质鈾矿和鈾黑的完全溶解。因此,这个亚带又可以称为鈾全氧化亚带。它与前面提到的鐳再富集亚带几乎重合。所以,此处的鐳对鈾的放射性平衡的位移系数才达到如此之大。前面提的泥质矿物,能阻碍放射性元素的迁徙,如果没有它們,这种系数可达百分之几千之巨。

在氧化带的其他部分,鈾的析出比鐳似乎較差,而盛于鐳。直到近地表部分(即淋蝕亚带),鈾才赶上鐳一些。

(4) 鐳开始析出的地方,在表生带內比鈾还要高些。鐳析出始于銅胶結带的上半部(图2, 3)。其下,形成自上面带下的鐳的再富集亚带。这儿的鐳若是数量不增长,那鐳对鈾的平衡系数也不只是200%,还可能更高。对矿物的观测結果表明,在这个亚带里,鈾的析出比較小,并且析出的鈾的质量之微,不可与鈾所具之总的質量相比。那么为了使鐳对鈾的平衡系数达到200%,就得至少排出鈾的全部質量之半才对。这么說,这种现象只有在鐳是从上几个中段被带下时才能解释得通。在銅胶結带內再往上,鐳的相对的剧增,很快便赶上鈾和鐳。在靠近地下水水面时,鐳的析出量有了减少,漸至与鈾的析出量大致平衡。这样比值一直保持到全氧化亚带的最低部。再往上,鐳的析出量減低,比值一般不大。在氧化带里,同鈾、鐳相比,鐳成了最不易活动的一个。鐳的这个特点,在表生带的近地表部分更为明显。

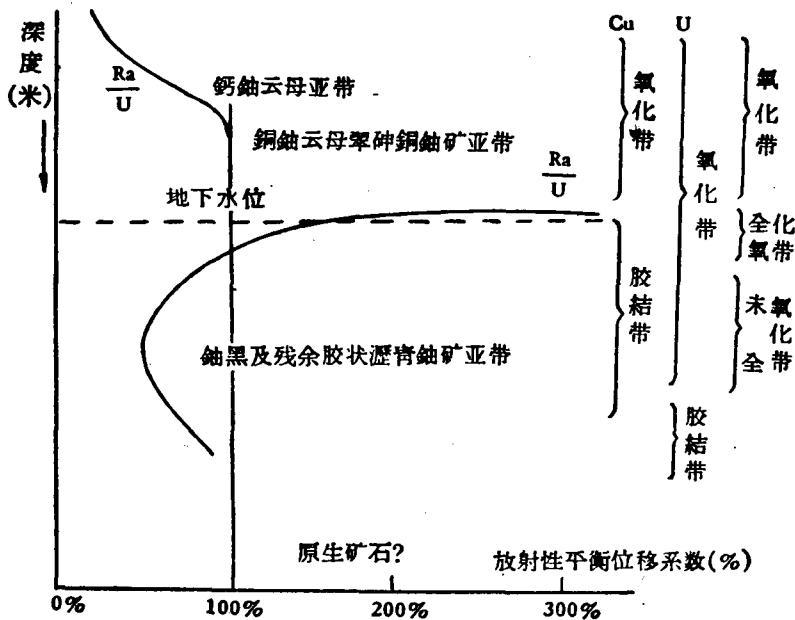


图3 平衡位移系的变化

看过鐳在表生带的状态之后,須要提到一点,鐳一般被認為在实际上不活动的元素。理由是它与鈾有相似性,因为它是鈾的同位素。但是,不仅是上列的曲线分析結果表明了鐳在表生带中会成为溶液,同时首先有实验性的研究表现了这一点。第一,直接测到鐳在地下水中存在。譬如在某个鈾硫化物矿床氧化带的水中查明 $Ra/U = 173\%$, $I_0/U = 10\%$ 。其次,使用各

种浓度的硫酸溶解铀矿时,铀与镭以不同数量溶入溶液,而镭却有绝大部分未溶。再以苏打中和溶液,镭做沉淀析出,而铀在溶液中未动。后一种实验结果同 I_0/U 和 Ra/U 比例曲线的分析结果颇为吻合。

在铀硫化物矿床的表生带内铀、镭和镭的状态之变化,和地下水性质的变化也互相重合。

从下往上,地下水之成分,先是钙、钠的碳酸盐或钙、钠的重碳酸盐一氧化物, $pH = 7-8$; 而后是钙、镁的重碳酸硫化物, $pH = 5.8$ 或更低(在地下水表面附近)。再往上,又是钙、钠的重碳酸盐, pH 约为 7, 但矿化程度小得多了。地下水的硫酸盐度高和 pH 值最低的带,恰是铀从矿脉析出最大,而镭积累的地方。碳酸盐较高的带,恰是镭从矿体析出最大的地方。在硷性重碳酸盐质的水和重碳酸氯化物质的水存在的条件下,镭从矿体里析出,镭不太活动和铀活动很差。这些结论和上述的实验结果(铀矿在硫酸中的溶解和在硫酸溶液的中和)很吻合。

由上面所述可得出怎样的实际的结论呢?

1. 铀、镭和铀在铀硫化物矿床的表生带内都能溶入溶液,并且能被搬运到矿脉或矿层范围之外和带进更深的地方。铀和镭不仅能搬运到矿脉或矿层之外,而且尚能被运出矿场很远。镭的基本质量不会离矿脉或矿层的范围很远。其移开的规模显然要由硫酸盐离子超常富集量决定。可以推断,在氧化的铀硫化物矿脉(或层)的围岩中,会有镭自己的扩散量,而在矿脉(或层)中也保持着一定的量。这两种情况,特别是有扩散量时,很便于铀矿普查。甚至在矿脉(或层)露头中的铀完全被带出时也有利。但是,在矿区的无铀的露头中,镭能单独保持异常富集的时间不可能很长。镭在铀析出后,由于放射性衰变,因而能生存一百万年以内。在这段时间

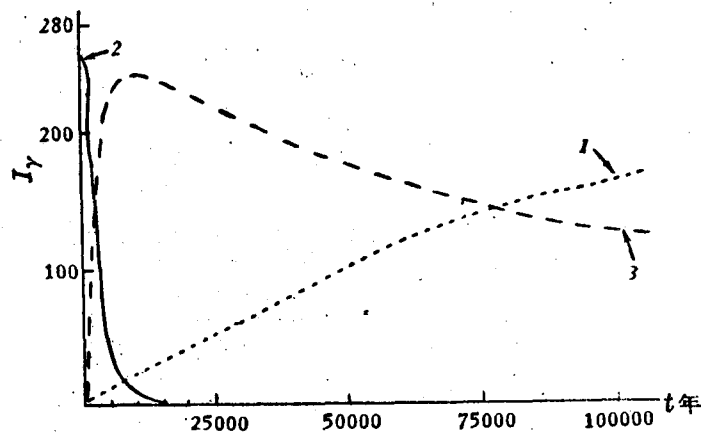


图4 γ 异常的强度随年代的变化

1---开始时只有铀(1×10^{-8} 克/克) 2---开始时只有镭(3.4×10^{-10} 克/克)
3---开始时只有铀(1.8×10^{-8} 克/克)

里,镭的量将有减少。从镭的可能的原始富集度以及现有的野外辐射计的灵敏度情况来看,不难想象,在较好情况下,镭的存在只有在它沉积的几十万年间能够被做为 γ 异常记录出来,也即镭的晕圈如果是在第四纪的后期(指后四分之一或后三分之一时间)中形成的话,才可能被记录到。因而在第四纪的后期以前便被侵蚀而露出的含铁矿化物的铀矿床,如果本身又处在氧化带易于发育的条件下,那么使用现代的野外辐射计无论是根据晕圈找还是根据矿脉(矿层)露头找,便更找不着了。为了寻找这类矿床,必须编制一套新的方法。编制这种方法的现实性极大,这也是因为用之可以发现所谓的盲矿床,可以发现尚未受侵蚀的和被很厚的表土或溶岩流所复盖的矿床。

2. 鈾、鐳和釷在被帶入礦脈(或層)的更深处之后,會形成相應的再富集帶或地段。鈾的再富集帶的實際意義人所共知,有了它,便有鈾的補充資源,但它也常常混淆原生礦體的形狀、大小和原生礦物的比例。至於鐳和釷的再富集帶的存在,是必須在各種放射測量中,看來特別是 γ 測井的工作中加以考慮的。

3. 部分鈾、鐳和釷自礦脈(或層)析出之后,會在圍岩中富集。因此經常出現富鐳與富釷之鈾的劣礦石和貧礦石。

4. 另有部分鈾和鐳在被析出礦場範圍之后,會在礦床以外的不同距離上並且經常又似乎在不同地段上重新富集。

目前,我們還不知道在礦床範圍之外,是否還會有釷超常富集的地段形成,這個重要問題有待解決。

鈾、鐳、釷的單獨富集的區分的特点,應該是它們的生存期和隨時間變化的 γ 射線強度。譬如鐳,在它搬到某處停下之后不再發生新的位移的條件下,它的富集度能夠存在的期限理論上不過15000到16000年。實際上,考慮到在這類地段鐳的含量不算太高以及我們的儀器的靈敏度的現實情況,所以上面所提的鐳富集度能夠做為 γ 異常而被記錄下來的期限要短的多。計算表明,這段時間與今天的年曆完全可以同計。可是在這段時間之內,鐳引起的 γ 異常的強度却為大減(圖4)。

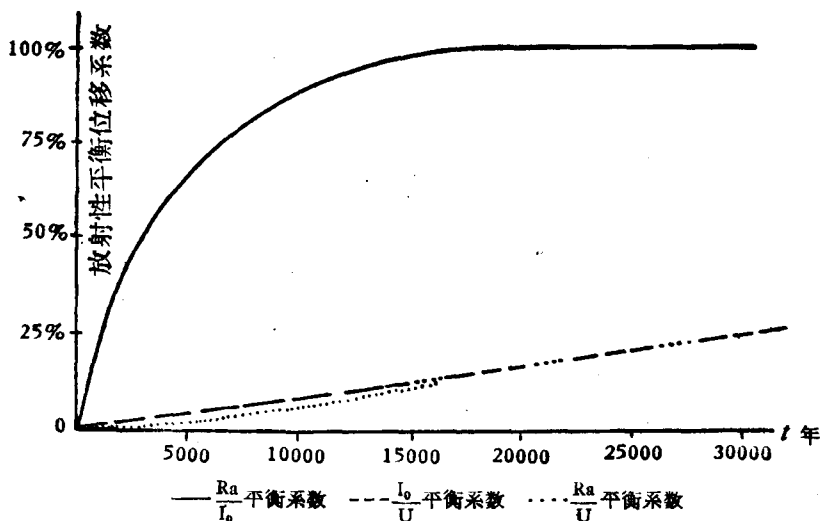


圖5 放射性平衡位移系数

對鈾、釷也可做出同樣的分析和計算。

由此可知,如果鈾、鐳、釷的異常富集單獨出現的話,那麼使用 γ 測量器械所測到的是各個元素在一定時間內的富集。三種元素的這段時間長短各異:鐳——幾千年,釷——幾十萬年,鈾——二十億年以上。它們的 γ 射線強度也隨時間變化,鐳在不斷減少,鈾和釷先有增高而後減少。使用 γ 輻射計要發現它們。這要在各個元素產生後經過一定時間:鐳——馬上可以被發現,釷——要經過幾十年,鈾——要經過800到1000年左右。

這樣一來,如果鈾、鐳、釷是單獨富集的話,當它們的某個共同發源體(礦床)破壞了的時候,則將在歷史上不同時期中會在不同的地方被記錄到,並將有不同的發源體了。隨着母體物質(鐳、釷)的衰變,同一個異常在不同的歷史時期,將有不同的 γ 射線強度。因此,譬如說,很低的 γ 強度的形成原因,既可能是原來的原始放射性物質的原始數量本來就很少,也可能是原

来的原始浓度很大,但生存的太久的緣故。生存時間最长、最稳定的异常,是由鈾的富集超常引起的。

由此可知,为了根据异常来发现其本源的矿床,应当了解异常的发源母体是什么,定出异常的年代,此后,再把該异常的母体放射性元素在产生富集的年代中运搬的可能的途径反溯出来。

www.cnki.net