



样品采集篇(12)

上期刊登了样品采集篇的第六节矿产勘查中专题研究的样品采集(上),本期刊登其(下)。至此,样品采集篇的全部内容已经刊载在《矿床地质》2015 年、2016 年各期中。从明年开始,本刊将陆续刊登“叙谈矿产地质工作”栏目的第三部分“综合评价篇”,即矿产资源评价篇。欢迎大家关注。

第六节 矿产勘查中专题研究的样品采集(下)

3 矿产勘查中成矿地质年代的专题研究

地质年代测定方法及其地质年代学研究近几十年来有较大进展,特别是成矿年代的研究广泛而迅速,为矿产勘查与研究提供了有力的依据。在以往的矿区地质工作中,基本上是依据古生物、地层或岩体的地质年代推定成矿年代,很少直接测定。虽然 U-Pb 法可以测定锆石年龄值,但对锆石砂矿床而言,很少有人进行过锆石测年工作,因为大家都认为锆石砂矿是属于第四纪或全新世的产物,无需测定。因此,成矿年代的测定与研究,过去基本上处于空白。

3.1 同位素地质年代测定工作的进展与认识

近半个世纪以来,由于科学技术的进步,地质年代测定的技术方法也有了较大的发展。目前在地质年代学研究中的主要技术方法有 K-Ar 法、Rb-Sr 法、U-Pb 法、普通铅法、放射性碳法、 ^{39}Ar - ^{40}Ar 法、Sm-Nd 法、Re-Os 法等。每种技术方法都是以同位素衰变原理为基础,但不同测定方法的切入点不同,测试对象及其采样和选样方法也有所差别,年代值的含义也不完全相同。

(1) K-Ar 法是 20 世纪六七十年代较为流行的一种方法,它是依据矿物中 ^{40}K 经 K 层电子捕获形成 ^{40}Ar 的衰变定律而设定的地质年代测定的方法。测定对象以含钾矿物为主,如云母类、长石类和角闪石、辉石以及沉积岩中深绿色海绿石。当上述矿物不易采集时,也可用岩石样品,但样品必须新鲜,无蚀变,没有被岩脉侵入。K-Ar 法测定年代的样品选择较容易,方法简便而经济,但测定对象中的 ^{40}Ar 易受后期地质作用而逸失,使其年龄值偏低,通常此年龄仅代表地质体年龄值的上限,反映地质体最终冷却的年龄值。

(2) Rb-Sr 法是 20 世纪 80 年代较为流行的一种方法,是依据矿物中 ^{87}Rb 经 β 衰变定律而设定的地质年代测定的方法。测定对象最好为白云母,长石类次之,黑云母较差,此外,几乎所有岩浆岩、变质岩和沉积岩以及含钾岩石均可作为样品。由于 ^{87}Rb 衰变后的产物 ^{87}Sr 是固态,不具挥发性,受后期叠加的地质作用影响较小,但是,矿物中 Rb 和 Sr 含量较少,必须采用灵敏度与精度较高的仪器和方法才能获得较为精确的数据。它广泛应用于古老岩石的年龄值测定,其等时线可以分别得出地质体形成年龄及其后的变动年龄。

(3) U-Pb 法,也称 U-Th-Pb 法,是通过测定矿物、岩石中铀、钍、铅的同位素含量,然后以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 等四组比值,同时推算出含 U、Th 矿物的同位素年龄值,并相互校正,基本上代表终端阶段的同位素年龄值。U-Pb 法测定对象主要是放射性矿物,如晶质铀矿、非晶质铀矿、钍铀矿、钍石以及花岗岩中的副矿物锆石、独居石、磷钇矿等,但由于上述矿物较少,采样和选样工作量较大,并且

自然界中 U、Th、Pb 同位素常有带入或带出现象,致使四组同位素年龄值往往不一致,在这种情况下应采取相应方法加以处理,千万不要只选择符合自己意愿的数值作为年龄值。U-Pb 法近来有较大发展,特别是对锆石单矿物的年代测定,使同位素年代测定的技术与方法向前推进一步。

(4) 普通铅法,它是最早采用的同位素年龄测定方法。普通铅中有 4 个同位素组成,其中 ^{208}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{206}Pb 不断得到 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th 衰变产物的补充,其丰度值随时间而增加,而 ^{204}Pb 的绝对丰度不变,因此, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值可以看成为地质时间的函数,据此原理计算,可以得出含铅矿物的年龄值。显然,普通铅法测定对象局限性较大,同时由于地质作用复杂和计算方法的问题,它只能给出近似的年龄值,在应用上存在一定的局限性。

(5) 放射性碳法,又称碳-14 法。自然界中 ^{14}C 的含量实际上处于动态平衡,均匀地分布在大气圈、水圈和生物圈中。当生物死亡,其遗体中 ^{14}C 因衰变而减少,死亡时间愈久,遗体中 ^{14}C 含量愈低。因而通过埋藏在地下的生物遗体中的 ^{14}C 的放射性强度的测定,并以现代同类生物中 ^{14}C 的放射性强度作为原始强度,将能较精确地测定出最近 5~6 万年(相当第四纪更新世晚期)所发生事件的地质年代。其测定对象主要是木炭、泥炭、木材、贝壳、骨铬、皮革以及沉积的碳酸盐等,因而它在第四纪地质学、古地理学、古人类学、古气象学、考古学以及土壤学、海洋学、农业等方面的应用比较广。

(6) ^{39}Ar - ^{40}Ar 法,是 K-Ar 法年龄测定中衍生出来的一种年代测定的方法。它通过中子活化的办法将样品中 ^{39}K 经过反应,转化为 ^{39}Ar ,然后用质谱仪测定其 ^{39}Ar - ^{40}Ar 比值,计算矿物的地质年龄值。这种方法与 K-Ar 法相比,它以 ^{39}Ar - ^{40}Ar 比值,代替了 K-Ar 法中 ^{40}Ar - ^{40}K 的比值,避免因后期地质作用致使组分丢失而出现的偏差。因而 ^{39}Ar - ^{40}Ar 法在年龄测定中应用也较普通,并且对含钾矿物效果较好,目前在蚀变带研究中经常用 ^{39}Ar - ^{40}Ar 法测定含钾的蚀变矿物,来确定交代岩的生成年代。

(7) Sm-Nd 法,是在 20 世纪 80 年代以后兴起的一种测定方法。它是依据矿物或岩石中轻稀土元素 Sm 与 Nd 的同位素衰变以测定地质年代的方法。该测定方法可以用于岩浆岩、变质岩与部分沉积岩的年代测定,特别对年代较老的岩石,不但可以测定其形成年代,而且也可显示其变质过程与年代。

(8) Re-Os 法,是近年来在成矿年代测定中比较常用的一种方法。它是利用放射性同位素 ^{187}Re 衰变为 ^{187}Os ,并依据铼的半衰期和矿物中 ^{187}Re 和 ^{187}Os 比值,计算其同位素年龄值的一种方法。Re-Os 法测定地质年代只适用于含有 Re 的矿物,在金属矿床中分布较广的辉钼矿是最主要的测定对象,其次为硅铈钼矿等。它可以直接测定成矿年龄值。

从上述 8 种主要地质年代测定方法的基本特征、测试对象、应用范围可以看出,每种方法的应用都是有条件的。它们有各自的特点,但又存在某种缺陷,因而各自所获得的年龄值的含义有所差别。这一点在我们的工作中必须清醒地认识到,然而许多人往往忽视了它们的差异性,热衷于年龄值数据多少百万年,而没有详细研究是什么方法获取的年龄值及其含义。这样就忽视了年龄值的意义,例如 150 Ma 这样一个年龄值,若是 K-Ar 法测定的岩石年龄值,它仅仅代表岩石冷却年龄值;若是 Re-Os 法测定的辉钼矿年龄值,则其代表辉钼矿形成的年龄,两者含义相差甚远,不可混为一谈。还有人将同位素年龄值随意“对号入座”,例如把全岩的年龄值简单地等同于岩体形成的年龄,把辉钼矿的年龄值简单地等同于成矿年龄,而不对生成关系做具体的分析研究。

在同位素年代测定的方法选择以及年龄值采用中,近年来还有一种不正常的倾向。许多人采用锆石 U-Pb 法测定年代,不论是用离子探针 SHRIMP,还是用 LA-MC-ICP,都称为“精细的年代测定”或“准确的高精度年代测定”。这种提法无形中抹煞甚至贬低了其他方法,似乎当今世界上只有离子探针测定的数据才是唯一正确的。这种认识过于极端,是很不应该的,然而,事实上恰恰反映了自己对同位素年代学研究还缺乏一定的了解。这种倾向希望能得到纠正。

3.2 Re-Os 法年代测定的一些问题

Re-Os 法可直接测定辉钼矿成矿年龄。由于辉钼矿在一些矿床,特别是内生金属矿床中产出分布较广,因而近年来在成矿年代测定中 Re-Os 法是应用最广的方法之一。但是在应用中由于采样与选样不规范而使

测定结果失去了意义,这其中主要包括采样数量、采样点布置、样品采集、矿样选择以及数据处置等问题。

(1) 采样数量。Re-Os 法测定的年龄是以数个测点所构成的等时线,并据它的斜率计算出年龄值,而构成一条测年的等时线必须有 5 个(含 5 个)以上测点的数据在同一或接近同一条线上方可成立。为什么要求 5 个(含 5 个)以上测点呢?这是数理统计中奇数法则所决定的。理由是偶数可能出现平行线,而奇数中只有三点才能成一线,然而“三点一线”存在偶然率问题,因此用 5 个(含 5 个)以上点最为可靠;在一条线上聚集点数愈多,其相关系数也愈大,可信度也愈高。这个法则在其他测定方法如 Rb-Sr 法、Sm-Nd 法的等时线的构成上也适用。现在看来这个法则并未得到所有人的理解、认可和执行。有人误认为 Re-Os 法测定只要 5 个样品即可,没有理解 5 个样品和“等时线必须由 5 个(含 5 个)以上测点的数据组成”是二个不同的概念,于是在 Re-Os 等时线图上出现的 5 个测点中只有 2~3 个点在一条线上的现象。这样的等时线是不成立的,也没有意义。还有一位学者在某地进行 Sm-Nd 法年代测定时,仅取了 5 个样品,并将其中所获的 3 个数据构成一条所谓等时线,算出其年龄值。更有意思的是,这位学者在等时线图下面加上一段批注“经××院士、××专家论证这条等时线是正确的,可以利用的。大有红头文件的架势,不理解也要执行!不科学也是正确!非常可笑。这里强调的是,一条等时线必须由均匀分布而聚集在一条线附近的 5 个(含 5 个)以上测点组成,不等于只要求采 5 个样品就可以了。

(2) 采样点布置。用等时线法获得年龄值在地质上必须具备的条件是,这一组样品应属于同源的,并且是同时期形成的,形成后又处于相对封闭的体系中。因此,采样工作要在处于相同体系的同一岩体或同一矿床中进行布置,才能保证样品的同一性,使其等时线年龄值能反映出岩体或矿体的年龄值。凡是按这个原理进行采样点布置的人,都取得了较好成果。但也有人没有弄清楚采样要求,就“超越时空”地采样。比如,有一位博士后在长江中下游开展 Re-Os 法年代测定工作,总共采集了 7 个样品,其中 2 个含辉钼矿的交代岩是在一个矿区蚀变带上采集的,3 个含辉钼矿的铁铜矿石是在另一个矿床中采集的,另外 2 块含辉钼矿细脉的花岗闪长岩样品是在废石堆中拣的。还有一位研究生在华北某矿区开展 Re-Os 法年代测定工作,该区钼矿床较多,矿床之间相距一般在 10 km 以上,而且产出分布方式多样,这位研究生分别在 9 个矿床中采样,其中,在岩体中采集了 3 个辉钼矿样品,在围岩中采了 3 个辉钼矿样品,在交代岩中采了 2 个辉钼矿样品,在石英脉中采了 1 个辉钼矿样品。这些样品虽然也做出了“等时线”,并获得“年龄值”,但是,由于这些样品不是在相同封闭体系中采集的,其“等时线”和“年龄值”根本无法代表该区钼矿床的成矿均一年龄,因而所获得的数据只有算术意义而没有地质意义,也无法令人信服。

(3) 样品采集。为了保证所采集的样品是在同一相对封闭体系中,因而要求所采集的样品其岩石和矿石特征要基本相似,矿物要新鲜。具体讲,一个样品中不能将原生矿物与次生矿物混合在一起;一组样品中也不可以部分为原生矿石样品,部分为次生矿石样品。一般要求是原生矿石样品,因为它基本上体现了相对封闭体系中的产物。采样时通常要沿岩体或矿床的走向,每隔 5~10 m 采集一个样品,每个样品要保证能挑选出 5~10 g 辉钼矿。然而,在实际工作中有的人不按规范要求,出现一些不规范的动作。例如,有人不是在岩体或矿床中按一定间距有序地进行采样,而是任选 1~2 个辉钼矿富集的地段或钻孔,打几块手标本,回去后将它分成 6~7 个样品送去分析化验。表面上看,是 6~7 个样品,但实际上只代表 1~2 个采样点上的 1~2 个样品。还有人在矿区采样时,不是认真的寻找采样对象辉钼矿,而是采取“捷径”,在废石堆中拣废石。有位研究生在南方某矿区开展成矿年代研究,一时没有找到含辉钼矿的矿石,便在选择矿厂的废石堆中拣了 6~7 块含辉钼矿的废石做年代测定。甚至还有人在矿区铺路石渣中拣含辉钼矿的废石做年代测定。他们的理由是矿区中的废石一定来自该矿区,然而,他们却遗忘了采样的最基本要求,辉钼矿样品必须是在同一相对封闭体系下的产物,何况近年来物流产业迅速发展,难于排除外来辉钼矿矿石的可能性。总之,这些来路不明、性质不清的样品所获得的“等时线”及其“年龄值”,不论从那方面评述,都是没有地质意义的。

(4) 矿样选择。在 Re-Os 法年代测定中目标矿物主要是辉钼矿。关于辉钼矿,很多人进行过专项研究,特别是辉钼矿性态的研究,对我们准确进行 Re-Os 法年代测定有很大帮助。研究表明,辉钼矿在成矿过程中可以早期形成,也可较晚期形成,矿石有浸染状、团块状、脉状、网脉状、薄膜状构造,矿物晶体有鳞片状、板

状、梅花状、粉末状,此外还有非晶质的,辉钼矿大小悬殊也很大,大的直径可达数十公分,而小的不足1 mm。辉钼矿在结构上有2H型、3R型和2H+3R型3种,其生成温度从900℃以上至400℃以下。目前资料表明,不同性状的辉钼矿其生成年代是有所差别的,其中2H型细鳞片状的辉钼矿生成年龄值比较稳定,粗大板状或梅花状辉钼矿因受应力作用的影响,年龄值常有波动,往往与细鳞片状的年代相差3~5 Ma;薄膜状辉钼矿的生成温度是在400℃以下,为成矿较晚期的产物,其测定的年龄值普遍比细鳞片状的小,有的可相差5~7 Ma以上,应归于成矿期上限的范畴。粉末状辉钼矿多为次生的。上述测试结果告诉我们,在矿样选择中要认真观察不同性状辉钼矿的产出关系,并依据工作要求,从中挑选出同一性状的辉钼矿作为样品,切不能不分青红皂白地将产出特征多样的辉钼矿混在一起。目前大多数人都挑选细鳞片状辉钼矿(<2 mm)作为年代测定的对象,其结果一般很少出现失偏现象,所以样品选择工作十分关键。据了解,现在绝大部分的选样工作是委托有关公司进行,甚至有的样品挑选出来后也不检查就直接送往实验室,很难保证所挑选样品中的矿物是同一性态的辉钼矿,因而其测试结果难免会出现误差或不真实。为保证样品质量,建议研究人员最好还是亲自挑样,不但能保证样品的质量,而且还可以发现许多有价值的现象,从而帮助你解决问题。曾经有位学者在挑选样品的过程中,发现花岗闪长斑岩中的辉钼矿有2种产出状态:一种与微细脉状油脂光泽的石英共生;另一种与斑岩中玻璃光泽的石英共生,他便将这2种辉钼矿分开,分别进行了年代测定,结果显示前者比后者的等时线年龄值普遍小,于是他对该斑岩型矿床的成矿过程做了更详细的探讨。

(5) 数据处理。Re-Os法年代测定数据出来后,实验室一般会给出Re-Os等时线图。对此,除上面所提出的问题外,还应注意以下问题:

A. MSWD值与 2σ 值。MSWD值是加权平均方差,一般要求是 <1 , 2σ 值是不确定度,包括样品稀释剂称量、标定误差,质谱测量与分馏校正误差,同位素比值测量误差和衰变常数的不确定度等,一般要求是 ≤ 2 。顾名思义,这2个数值都是衡量质量标准的数值。但在有的报告、论文中,经常可以看到 $MSWD > 1$,甚至为 $2 \sim 3$, 2σ 值 ≥ 2 的数据仍在使用的现象。测试报告中若出现MSWD值与 2σ 值超标的现象,不但测试报告不能接受,而且首先要检查一下样品的采样、选样是否合于质量要求。

B. 对测试报告中Re和Os的相对含量要仔细地核对。当Re含量很高而Os含量很低时,说明Os是由Re衰变而来的,不存在放射性Os或放射性Os不占主导地位,在这种情况下Re-Os法测定的年龄值才会有实际意义。反之,Os含量大于Re,说明有放射性Os存在或大量存在,这种情况下Re-Os法测定的年龄值将会出现较大的失偏现象,降低其实际意义。这是我们地矿工作者在利用测试数据时必须把守的一道重要关卡。然而现在很多同仁不顾及这些现象,也不追究原因,以至将不可靠或不真实的数据公布于众,起到误导作用。

C. 在Re-Os法年代测定实验报告中有关辉钼矿的形成年代一般有3种数据:一是每个样品的模式年龄值;二是模式年龄的加权平均值;三是等时线年龄值。这3种年龄数据的地质内涵各不相同,不可混淆。但在使用中经常出现不严肃的现象。有的人只取1~2个样品,并且将这1~2个样品的模式年龄值作为成矿时代加以讨论与推理;有的人在利用加权平均值和等时线的年龄值时,完全忽视了它们之间的差异,而依个人需要,随意地选取一个年龄值当作成矿年代。对于不同含义的年龄值,应该深入分析与研究,特别是加权平均值与等时线年龄值的区别,前者基本上是代表成矿均一化时的年龄值,后者基本上是代表成矿初始的平均年龄值,2个年龄值可以十分接近,也可以相差较大,而这种差异的程度恰恰反映了成矿过程的特点,从而使我们能获得更多有关成矿作用的信息。

D. 目前很多人依据Re-Os法年代测定报告中Re的含量来判别成矿物质来源,并且将Re含量划分为3个级次,作为判定成矿物质来自地幔、下地壳和上地壳的标准。从目前各方面的资料看,上述分级是统计资料的概率分级,而不是实验或实物资料的总结,并且统计的原始数据是以与花岗岩类有关的成矿作用为主,近来有人对与镁铁质、超镁铁质有关的成矿作用的Re含量进行分析,结果认为不存在上述3个数量级的差别,甚至不同意定量化的判别。看来,利用Re含量作为判别成矿物质来源还存在一定问题和意见分歧,因而在Re资料利用以及成矿物质来源判别上应全面考虑,不要仅根据Re的含量而简单地断定成矿物质的来

源。

3.3 锆石年龄值与成矿母岩

近年来,由于锆石年龄值测定方法较为简便、直观而受到人们推崇,特别是在内生矿床勘查与研究中,常作为岩体定年的依据,并且结合辉钼矿 Re-Os 法年龄测定,推断成矿与岩体的成因关系。这种研究思路目前较为流行,但是在锆石年代测定及岩体成岩年代、成矿年代和成矿母岩等关系上尚有一些问题需进一步研讨。

(1) 锆石年代测定与岩体成岩年代。从岩浆岩的岩石组分看锆石是属于副矿物,从生成顺序看锆石是较早结晶的矿物之一,并且其晶体呈环带状结构。目前大家采用年龄测定的锆石其晶体多呈四方柱或四方双锥。用离子探针对锆石进行 U-Pb 法年代测定,要考虑到锆石是岩浆中较早结晶的矿物,锆石年龄值从理论上讲至多代表岩浆侵位初始的年龄值。由于岩浆自侵位至完全固结以及岩浆期后热液活动,需要一定的时间里程,实验资料表明少则需要几个百万年,多则数十百万年以上。于是锆石的年龄值能否代表岩体年龄值成为争论焦点。从目前大量测试资料以及岩浆岩研究成果来看,这个问题不能简单地肯定或否定,要具体分析。例如对于高位侵位岩体,如斑岩体、以及部分花岗岩体的岩枝、岩脉和次火山岩,岩浆侵位与固结是处在高位开放系统中,冷却、结晶、固结时间十分短促,因而锆石年龄值可以与岩体固结生成的年龄值接近或基本相同,而其他侵入岩,特别是规模较大的花岗岩基、岩株等侵入岩,岩浆侵位后处于一定深度,在封闭或相对封闭系统中,其冷却、结晶、固结形成时间过程是相对较长的,有的可达数十百万年以上。如此漫长的岩浆冷却、结晶、固结过程,锆石年龄值不可能与岩体完全固结形成的年龄值一致或接近,因而用锆石年龄值作为岩体完全固结的年龄值是不合适的。许多人不加分析,将锆石年龄值等同于岩体完全固结年龄值,并以此作为成矿年代及其成矿动力学背景讨论的依据,确实显得过于浮躁与冒失。

在锆石 U-Pb 法年龄测定后要以每个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 数据编制成谐和图并确定谐和和年龄值。在谐和图编制中有些锆石测点的数据游离于谐和线之外,或偏离谐和线较远地方,对此许多人以种种理由将其简单地取消、抛弃或置之不理。这种处理方法也过于简单化和草率。造成偏离或游离于谐和线之外的测点原因很多,有的与锆石测点位置有关,有的与样品遭后期蚀变有关,有的与岩浆侵位特点有关,总之要细致分析研究,不要一概否定。有位学者在我国长江中下游的某岩体中开展锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年代测定工作,做了谐和图,并获得 145 Ma 的年龄值,同时又发现有数个测点偏离谐和线较远。在这情况下他没有以某种理由将这些偏离谐和线较远的测点抛弃掉,而是逐点分析研究,结果发现有 4 个测点其模式年龄值在 800 Ma 左右,而且锆石环带状结构不明显,中心部分有大小不一的白色团块,与谐和线上测点的锆石有所差别,从而认定这 4 个测点的锆石为岩浆侵位时捕获来的锆石,并证实了岩浆侵位时同熔了深部中新元古界的事实,从而加深了该区岩浆侵入活动的研究程度。这个事例给出 2 个重要启示:一是每个锆石测点数据都蕴存一定含义,不能轻易抛弃;二是要结合锆石晶体特征研究锆石测点的数据。这样可以在锆石晶体及其测定数据上获得更多的地质信息,而不仅仅局限在年龄值上,以便为成岩、成矿研究开拓广阔的思路。

讲起锆石晶体,不禁想起过去进行重砂测量时对于锆石晶体形态的一些记忆。锆石晶体形态有多种,有人理出有十几种。目前年代测定的主要是四方双锥和四方柱晶形的锆石,其他晶形则很少涉及,其原因一方面可能是采样数量的关系,另一方面是目前挑选锆石几乎是外包给别人,而且规定的就是最易分辨的环带状四方柱加四方双锥晶形的锆石。对此,能否突破这个规定,对不同晶形的锆石进行研究与探索,进一步了解它们的生成关系,为年代学研究提供更多的信息呢?

(2) 矿床的成矿年代与成矿母岩问题

目前能直接测定某种矿物形成年龄的方法不多,除用 U-Pb 法测定锆石以及某些放射性矿物外,就是用 Re-Os 法直接测定辉钼矿的形成年龄值。从已知资料看,辉钼矿在矿石中主要有 3 种产出形式:① 辉钼矿以主产矿石矿物形式出现,并构成以辉钼矿为主的钼矿床。这种形式出现的辉钼矿及其矿床,其成矿年代的厘定相对比较容易,可以直接对矿石中辉钼矿进行年代测定,只要采样方法正确,采集的是矿床主体部分细鳞片状辉钼矿,辉钼矿的年龄值基本上就直接代表了该矿床成矿年代;② 辉钼矿以共生/伴生形式出现,作

为矿石中有益组分存在。这种形式出现的辉钼矿及其矿床,其成矿年代也可通过辉钼矿年代测定加以厘定,但只能大致估算成矿的相对时限,并且年龄测定时要严守二个前提,一是必须挑选出矿石中同一性态和产出特征的伴/共生辉钼矿,如同为细脉状辉钼矿,或浸染状细鳞片状辉钼矿,不可混杂;二是所挑选的辉钼矿与其他矿石矿物,特别是矿床主产的矿石矿物的生成关系必须理清。也就是讲要在矿物生成关系指导下依据辉钼矿生成年代,间接地推断矿床成矿年代;③辉钼矿没有在主矿体中产出,未发现辉钼矿与主矿体有关的直接证据,这种情况就存在多解性了。例如,有位学者在某铁铜矿矿床中开展成矿年代工作。该矿床的矿石中仅以块状磁铁矿与细脉状黄铜矿为主,未发现辉钼矿,而矿区外围岩体中见有沿节理充填的薄模状辉钼矿微细脉。这位学者采集了微细脉中薄模状辉钼矿进行年代测定,并获得等时线年龄值。这种辉钼矿年龄值能否代表该矿床的成矿年代?引起了不同的声音,众说纷纭,莫衷一是。从上述 3 种情况及其分析可以看出,矿床的成矿年代厘定必须结合矿床特征,尤其是矿石成分生成关系,不能以单一的辉钼矿的年龄值来厘定。现在很多人在这个问题上往往忽视或不顾辉钼矿在矿床中的地位及其与其他矿石矿物的生成关系,不做认真、细致的分析研究,就认为辉钼矿年龄值就是该矿床的成矿年代,简单地将两者等同起来。

在成矿年代与岩体年代的测定基础上,人们往往会追溯到成矿母岩问题上。关于这个问题有不同的观点。有人认为年代是最重要的依据;只要岩体年代与成矿年代相近,而空间上又联系在一起,该岩体就是成矿母岩。例如华北某地矽卡岩型铁多金属矿床,在铁矿石节理中细脉状辉钼矿 Re-Os 等时线年龄值为 140 Ma,而与矿体直接接触的岩体中心相,其锆石 SHRIMP U-Pb 法年龄值为 130 Ma,于是就认为该岩体就是该矿床的成矿母岩。还有一位研究生在南方某地石英脉型钨矿区工作,测出与黑钨矿共生的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄值为 135 Ma,而在坑道中有一处花岗岩出露,其锆石 SHRIMP U-Pb 法年龄值为 130 Ma,于是认为该岩体就是石英脉型钨矿床的成矿母岩。这是 2 个十分典型的岩浆期后热液成矿作用的例子。我们姑且不谈地质因素,只说两者的年龄值,前者是矽卡岩型矿床,岩体的锆石年龄值为 130 Ma,矽卡岩中辉钼矿的年龄值为 140 Ma,岩体中锆石年龄比辉钼矿年龄年轻了 10 Ma,这本身就不正常,何况该岩体面积有几十平方公里,130 Ma 侵位后还要经历结晶、固结,才能形成岩体以及后来的岩浆热液活动,显然岩体形成及其成矿作用只能发生在 130 Ma 以后,然而,铁矿石节理中细脉状辉钼矿年龄值却为 140 Ma,比岩体至少早 10 Ma 就形成了,这个岩体怎么能作为该矿床的“成矿母岩”呢?后者是石英脉型黑钨矿矿床,也属于成岩后岩浆期后热液矿床。作者以岩体年代与成矿年代相近,相差均在误差范围内为由,认为它们属于同期产物,并作为“成矿母岩”处理,然而却忘记了岩浆期后热液矿床生成时与“成矿母岩”的时空特点。这种错误并不少见。

上述 2 个实例最大的错误是将与成矿年代相同/相近的岩体作为判定“成矿母岩”的唯一依据。在一个矿区与成矿年代相同/相近的岩体可能不只一个,难道都是“成矿母岩”吗?何况时间相对关系仅是“成矿母岩”厘定中的一个因素,更主要的还要考虑地质上的生成关系。“成矿母岩”是一项综合性问题,无数同仁在这方面进行了长期、多方面的工作和探索,也取得了某些进展,但仍存在许多悬而未决的问题,因而它不是通过年代测定就能够简单解决的问题,它需要更多的地质事实,特别是与成矿具有“亲缘关系”的事实为佐证,方可令人信服。

(中国地质科学院矿产资源研究所 吴良士 供稿)