

矿床的多成因问题

涂光炽

矿床成因一直是从事矿床工作的生产、教学和科研人员共同关注的重要问题。长期以来,可以说自从矿床学开始萌芽以来,无论对矿床成因持何种观点,内生或外生、岩浆或冷水,一般都是单一的成因论者。只有对少数矿床,如某些沉积变质矿床、沉积—浅变质—风化壳型富铁矿床等,才认为不同的、相隔时间很长久的地质作用在成矿全过程中都很重要,即这些矿床是多成因的。

过去,对大多数矿床持单一成因观点,这是不足为奇的。我们在野外看到的只是长期成矿作用的最终结果,常常无法了解,甚至无法探索成矿全过程。在这种情况下,是容易把丰富多采的成矿全过程简单化了的。

自然界是复杂的,成矿作用也是复杂的。怎能设想,一个在20多亿年前、10多亿年前、或者几亿年前形成的矿床或矿床的前身,在后期的地质作用中不会受到影响、改造、富集、贫化甚至破坏呢?但是在过去,由于理论的贫乏,方法和手段的不足,人们无法探索成矿的奥秘。

同位素年代学、稳定同位素、成矿成岩实验、气液包裹体、矿物共生组合和热力学等理论和方法,为我们了解和探索成矿全过程提供了有力的武器。尽管人们综合地、多学科地利用这些理论和方法研究自然界的奥秘才不过二十多年,但已取得了一些十分有意义的成果。其中之一便是,在不排除某些矿床,特别是年轻矿床单一成因的前提下,多成因矿床无论在类型上和数量上似乎愈来愈多了。

在现阶段谋求对矿床多成因问题作一些概括是很困难的,因为它发展得很快,确实是日新月异。限于水平和篇幅,作者不拟在此探讨多成因矿床的多种多样的形成机制,而只是举一些实例,说明如何通过前述理论

和方法以探讨某些矿床的多成因形成方式。

湖南宁乡棠甘山锰矿床提供了用野外观察结合矿物共生组合、热力学研究矿床多成因的一个实例。对它的成因是有争议的。一种意见认为它是典型的沉积矿床^[1],另一种意见认为矿床是沉积形成的,但受到后期岩浆活动的影响^[2]。作者倾向于后一种看法。

棠甘山锰矿床基本上是湘潭式锰矿,二者地理位置相隔很近,都产于南方震旦系中。二者产状和围岩一致。矿石具层纹、层理。原生矿石中,二者均含大量锰的碳酸盐矿物。但是,棠甘山锰矿和湘潭锰矿或其它典型沉积锰矿床在矿石物质组成上有较大差异。即矿床东部锰的硫化物硫锰矿和锰的硅酸盐如锰榴石、锰闪石等含量明显增加^[2]。

在地表水体中形成的沉积锰矿床,主要由锰的碳酸盐、氢氧化物和氧化物矿物组成。如果有硫的存在,它一般和铁结合形成黄铁矿。从锰矿物的热力学研究看,沉积锰矿床形成时的氧化还原电位较高,不利于硫锰矿的形成。因此,在沉积锰矿床中,很难出现硫锰矿;即或出现了,量也微弱,只具矿物学上的意义。

Frenzel^[3]最近对27种具工业意义的锰矿物作了详尽的矿物学和矿物物理学描述,但其中并无硫锰矿。而在棠甘山矿床东部硫锰矿却形成了工业堆积,这在国内外沉积锰矿床中是十分罕见的。

和硫锰矿共生的还有锰榴石、锰闪石等锰的硅酸盐矿物,它们也不可能是沉积作用形成的。它们要求的温度较高,是热水作用的产物。

因此,尽管棠甘山锰矿和湘潭锰矿有不少类似之处,但这种特殊的矿物共生组合关系却说明了棠甘山矿床东部形成后遭受了和湘潭锰矿不一样的命运。人们不能不将这

一特殊现象和矿床东部在中生代时有汾山花岗岩侵入这一事实联系起来。正是这后期的岩浆活动导致了矿床东部异常的矿物共生组合。

硫锰矿的形成有两种可能。一是后期岩浆热液带来了硫，它和矿床中被溶解活化的锰在氧化还原电位十分低的情况下结合成硫锰矿。另一种可能是硫来自矿床中的黄铁矿。在后期岩浆活动的热力或溶液的影响下，黄铁矿中的硫和菱锰矿中的锰都被析出重新组合为硫锰矿，介质条件同样也是很低的氧化还原电位。无论是那一种情况，中生代的酸性岩浆作用都参与了成矿活动。锰的硅酸盐矿物的形成也和岩浆热液或热力有关。

广布华北、华东六省的邯邢式铁提供了用野外观察结合硫同位素说明其多成因形成的实例。这种矿床的矿石矿物以磁铁矿为主，有不同含量的黄铁矿和其他硫化物。现在看来，矿石中的铁和硫来源是不同的。

关于铁，较多的地质工作者认为它和中性岩浆活动有关。这种岩浆可能来源较深而定位很浅，铁矿大致是中基性岩浆深部分异的产物。另一种看法是闪长岩等含铁岩石中的铁经钠长石化富集成矿^[4]。尽管这两种成矿方式不同，但都承认铁的终极来源是中基性岩浆岩。

关于硫，长时期对它没有专门的讨论，但趋向于认为它和铁一样，也是岩浆来源。近年来冶金部地质研究所对许多邯邢式铁矿床所作的大量硫同位素工作，说明硫的来源很难与中基性岩浆活动相联系，而更可能是海水中的硫酸盐（铁矿石中黄铁矿的 $\delta S^{34}\%$ 大多落在10~25之间）。这种情况与铁矿床的地质产状是完全可以结合的，因为与成矿有关的闪长岩体受中奥陶统多层崩塌角砾岩（盐溶角砾岩）的控制，而后者是含石膏层。看来，铁矿床在形成过程中，围岩中的硫酸盐提供了部分硫的来源。

附带说几句。由于硫酸盐的活泼性，地层中的沉积石膏—硬石膏可以为一些穿过它们或在它们附近形成的矿床提供部分硫源。一个实例是苏联诺里尔斯克铜镍硫化物矿床。这种矿床本身及与之有成因联系的超基性岩体，一般均认为它们的物质来源是上地

幔。但诺里尔斯克矿床硫化物中重硫（ S^{34} ）含量较高，很难说明这种硫仅仅来源于上地幔。目前，一般认为部分硫是来自超基性岩体穿过的上泥盆统沉积石膏—硬石膏层^[5]。因此，即或是其成矿物质来源于上地幔的铜镍矿床，也不排除它所含的硫多源性的可能。

实际上，围岩中的硫不仅作为一种成矿物质参加到后期形成的矿石中去，而且它也参与了后期的成矿作用。参与了成矿作用的，还不只是硫，还有地层中的碱金属、挥发份、卤族元素等。曹广金^[6]曾讨论了我国内生铁铜矿床与膏盐的关系。看来，在地层中早已存在的活泼物质为后期的成矿作用（无论是岩浆的、火山的、地下热水的、变质的等）不仅提供了一定物质来源，而且也是搬运、富集、催化、分散或甚至破坏的一个重要因素。从一个侧面看，这也是一种多成因成矿方式。这个问题比较复杂，牵涉到大量成矿实验，氧、氢、碳同位素和包裹体成分工作，这里将不作更多讨论。

著名的白云鄂博稀土—铁矿床提供了用多种方法研究矿床多成因问题的实例。综合性的方法包括了同位素年代学（钾氩法、铀钍铅法、普通铅法等）、稀土比值、氧同位素等。这些方法结合野外观察（矿体产状、与围岩关系、与花岗岩时空关系等）使王仲刚等^[7]得出了这个物质组成极为复杂的矿床是一个沉积浅变质—岩浆热液交代的多成因矿床的看法；前者发生于大约15亿年前，后者则是晚海西期事件。

甚至，就一般认为是典型的岩浆热液矿床的斑岩铜矿而论，有若干实例也说明它不只包括一种成矿作用，而是多种成矿作用，因而在一定意义上它也是多成因的。就斑岩铜矿常产于浅成侵入体或次火山岩体的内部或内外接触带，矿化常只和钙碱系列的流纹—英安—安山岩浆活动有关，常具高温蚀变如钾长石化、黑云母化，和大量硫同位素测定说明硫主要来自地壳深部或上地幔等事实来看，似乎斑岩铜矿的形成只和岩浆热液有关。事实上，七十年代以前矿床学家也是这样认为的。

但是七十年代后，氧氢同位素和包裹体成分研究生动地说明了多数斑岩铜矿、铜钼

矿和钼矿的形成全过程中,在初期阶段确是以岩浆热液为主,但在成矿的晚期阶段,即在后期绢云母化和粘土化阶段,地下热水参与了成矿作用,而且后者愈来愈重要。

实际上这是容易理解的。大多数斑岩型矿床都是浅成矿床,在斑岩的定位地带有丰富的地下水。这种地下水尽管没有给斑岩矿床带来新的成矿物质,但它的存在(主要在斑岩体的上部)易于使斑岩岩浆柱上下部位产生较大温差,这就使岩浆对流经常发生,而这种岩浆对流对挥发份、铜、钼、硫的逐步富集是十分重要的^[8]。

不少斑岩铜矿,如像美国西南部、太平洋西南和我国的一些斑岩铜矿,在含矿斑岩上部,还有某些矿化小岩株顶部,都常有高盐度的多相包裹体存在,子矿物包括NaCl、KCl、赤铁矿、硬石膏等^[9]。这种高盐度多相包裹体被认为与矿化的富集有关,因为不含矿斑岩一般不含或少含高盐度多相包裹体。

这种含高盐度多相包裹体的大量出现被认为是含矿溶液多次沸腾的结果,而含矿溶液之多次沸腾很可能是由于前述地下水所导致的斑岩柱的对流所引起的。从这个侧面看,地下水也参与了斑岩和小岩株的成矿作用。另外,地下水由于借助于斑岩的热也可能产生对流,而这对多次沸腾也是有促进作用的。

从基底、围岩、或上覆岩层把成矿物质内生淋滤*出来,又重新富集沉淀,是一种重要成矿方式。这也是一种多成因矿床,因为成矿物质早已存在(有的就是矿床)。后期的地质作用起到了重新搬运这种成矿物质的作用。

早在二十多年前,史奈德洪在他的著作^[10]中就提出了所谓“再生”矿床即经过搬运的矿床。但限于当时的历史条件,史氏难于为成矿物质的迁移提供足够的证据。

近年来,同位素地球化学的迅速发展,为这种成矿物质的运移、富集提供了见证。

这里,为了说明问题,对从基底、围岩、上覆岩层中把成矿物质内生淋滤出来,而后富集成矿,各举一个实例。

辽宁关门山铅锌矿是从基底到盖层成矿

物质运移的典型例子。它产于震旦系白云岩中,受岩性、构造和地层位控制,是一个层控矿床。对这个矿床的方铅矿曾有不同单位作过十多个铅同位素分析。考虑到分析误差,这十几个铅同位素分析结果十分一致,说明关门山矿床的铅同位素组成基本上是普通铅,模式年龄为19亿年[±]^[11,12]。但赋存矿床的震旦系年龄只有10亿年,说明是老铅存在于年轻地层中。另外,一些迹象说明该铅锌矿是在中生代燕山运动中形成的。

这种情况唯一可能的解释是:中生代,当这个地区受到强烈地壳运动时,基底下元古界辽河群(18~24亿年)中的铅被淋滤出来,然后搬运到盖层的震旦系中的构造软弱带或溶洞中沉积成矿。在搬运过程中,显然没有受到其他来源放射成因铅的干扰,从而保留了原来普通铅的本色。

结合整个辽中地区变质历史和大量同位素年龄测定,全部辽河群在19亿年左右遭到一次广泛的、中级程度的变质作用。另外,林尔为等利用Pb—Pb等时线,证明关门山南面另一铅锌矿区在18.5亿年时有一次大的铅同位素均一化^{**}。再参照吉林南部产在辽河群中的一个层控铅锌矿床(荒沟山)铅同位素模式年龄也是19亿年等事实^{***},可以认为在辽中、辽东、吉南一带19亿年左右的区域变质作用导致了铅同位素均一化,产生了相当于这一年龄值的铅矿床、矿化或分散铅,并也为后成的关门山铅锌矿提供了成矿物质基础。

南方某一铀矿床提供了成矿物质来源于围岩的例子。这个铀矿床赋存于中泥盆统东岗岭组碳酸盐地层中的层间破碎带中。矿床围岩的泥质岩石中有分散产出的浸染状沥青铀矿,它的U—Pb年龄是380百万年,即相当于围岩泥盆系的年龄,说明这种浸染状的沥青铀矿和围岩大致是同时形成的。但在层间破碎带中产出的铀矿体中沥青铀矿的同位

*这里的内生淋滤作用,指地下深处构造软弱地带由被加热的地下水进行的元素淋滤作用,以区别于地表所进行的外生淋滤作用。

**青城县及其外围铅锌矿床的铅同位素和硫同位素地质,林尔为、苗岩田、邵祖荣、申浩渤,1978,10。

***中国科学院贵阳地球化学研究所同位素地球化学研究室测定。

素年龄却是早白垩世的。矿床附近没有岩浆岩产出。可能的成矿方式是：泥盆系中分散的铀，在晚期燕山运动时活化，被搬运到构造软弱带（层间破碎带）富集，实质上也是一种内生淋滤作用。

矿床学发展早期的侧分泌学说和五十年代盛行的矿源层理论，也都涉及到同样的成矿作用，不同的是当时不过是设想，而今天则是得到了验证。

从上覆地层中把成矿物质经内生淋滤，在不整合面下的地层或构造中赋存的矿床实例是湘南的一个铀铜矿床。它的2号矿体产于上白垩统红层中的浅色层内的层间破碎带。4号矿体产于红层和下伏中上石炭统碳酸盐地层的接触带。6号矿体则位置更下，产于中上石炭统和上二迭统煤系的断层带中。尽管地质产状不同，但各矿体的物质组成十分相近，原生铜矿物都是以辉铜矿为主，还有斑铜矿、黄铜矿、黝铜矿等。沥青铀矿的同位素年龄相当于新生代初期。

这个矿床的2号矿体可能是沉积后经过改造形成的矿体（见后面的讨论）。它下面产于老地层中的4号、6号矿体则可能是红层中的铜铀向下经内生淋滤搬运形成的。2号矿体的改造和4号、6号矿体的形成大致发生于新生代早期。在这个时期，本地带的花岗质岩浆活动已经基本停止，因此，难于设想它是岩浆热液矿床。成矿物质向下淋滤富集的因素很可能是被加热的地下水，而构造软弱带控制了后者的流动与成矿物质的沉淀。

上面，我们对于从基底、围岩和上覆岩层中经内生淋滤搬运而形成的矿床仅各举一例说明。看来，它们在自然界的出现可能比过去设想的要多一些，但过去史奈德洪^[10]把所有的年轻的内生矿床均认为是“再生”矿床，即搬了家的矿床，排除了其他成因的可能性，则未免又有些过份了。另外，史氏强调“再生”矿床的前身也必须是矿床，排除了分散物质经内生淋滤成矿的可能性，这也有些走极端了。

在多成因矿床中还必需提到一种沉积形成的矿床，它们后来虽未受到变质但却受到不同程度改造的矿床。这种矿床在我国这样

一个地壳运动相当频繁的国家是常见的。

沉积矿床应当严格受地层、岩性控制，矿体整合，呈层状、似层状，围岩缺乏蚀变，矿石有时具层纹、层理、条带结构等。当受到后期地质作用的改造时，这些沉积本色不同程度地丧失了。如除了整合矿体外，可以出现不整合矿体。除了地层和岩性控制外，构造因素也很重要，而改造愈强烈，构造控制愈重要。在改造较强烈部位出现了基本上是就近取材或就地取材的蚀变现象。原来矿石中的一些沉积结构也模糊不清了，出现了角砾状等新的结构。

所谓改造，主要是沉积矿床形成后发生了构造活动，部分的沉积矿床的成矿物质被活化转移了，在矿床本身或矿床附近的断层、破碎带等重新沉积成矿。强烈改造的沉积矿床在地质产状、蚀变、矿石结构构造上很类似岩浆热液矿床，也常被当作了岩浆热液矿床。

如果坚持矿床的单一成因观点，即一个矿床不是外生成因就一定是内生成因，那么，这类矿床的成因将永远得不到合理的解决。如果承认这类矿床的多成因性，即在沉积矿床（外生作用）的基础上发生了后期改造（内生作用），则一大类矿床的成因问题便迎刃而解了。

沉积—改造矿床包括许多海相沉积菱铁矿矿床、产在碳酸盐地层中的铅锌矿床和砂岩铜、铀矿床等。当后期改造不显著时，沉积矿床的特征是容易识别的（如新疆库姆塔格的菱铁矿矿床，陕西大西沟的菱铁矿矿床和铅锌矿床等）。如果改造强烈，就容易被误认为岩浆热液矿床（如广东凡口铅锌矿床，贵州水城菱铁矿矿床等）。但如果把野外地质观察（如矿床远离侵入体，只在改造部位蚀变才较明显，不少地方还保留了沉积矿床的特点等）和同位素地球化学、气液包裹体、成矿成岩模拟实验等方法手段结合起来，特别是承认沉积矿床在形成后可以受到改造，那么，这一大类矿床成因问题是不难解决的。

这里，我们不预备对沉积—变质矿床作专门论述，因为在过去很长时期内它们实际上被认为是多成因的矿床。需要补充的是在

沉积—变质矿床的基础上又叠加了混合岩化热液（或称超变质热液）作用。这种矿床更明显地体现了多种地质作用的综合结果。

混合岩化热液作用对形成东北南部硼、铁矿床和鞍山式铁矿床中的黑富矿，过去曾有不少论述^[13,14]。需要指出的是，在某些多成因铅锌矿、铜矿和金矿的形成历史中，混合岩化热液也起过一定作用。

山西交城铅锌矿是一个沉积—变质—超变质矿床。它产于早元古代或晚太古代的黑云母片麻岩、角闪石黑云母片麻岩中。片麻岩系受到混合岩化，后者产生了夕卡岩矿物，如石榴石、透辉石、透闪石等。铅锌矿化晚于夕卡岩的形成，是混合岩化热液的产物。但成矿物质已存在于沉积变质地层中，后期混合岩化热液使它进一步富集成矿。

在多成因矿床中常有多种含矿溶液的参与。同位素地球化学、成矿实验、气液包裹体研究为这一论断提供了有力依据。

在对一些矿床的研究中人们注意到在成矿过程的一定阶段，盐度高的溶液起了很大作用。早在二十多年前就报道了密西西比河各型铅锌矿床中气液包裹体含盐度高，可达现代海水盐度的10倍^[15,16]。但即或这样高含盐度的溶液在低温条件下（100~150℃），也难于同时携带足够的铅、锌和还原状态的硫以形成铅锌矿床^[17]。看来，较大的可能是成矿溶液只能或者含铅、锌，或者含硫，而不能同时二者都含。否则，二者很早就会形成低溶解度的铅、锌硫化物而得不到搬运。许多产在碳酸盐地层中的层控铅锌矿床，包括密西西比河各型铅锌矿床在内，矿石硫同位素分析结果常说明硫来源于当时海水硫酸盐。铅锌来源虽众说纷云，但不会是来自海水硫酸盐。因此，这类矿床的形成很可能是两种（甚至多种）含矿溶液（一种含铅锌，一种含硫）遭遇的结果。日本黑矿也有可能就是这样形成的。

在本篇伊始，作者曾指出，目前尚难于对丰富多采、错综复杂的多成因矿床形成机制作出理论概括。看来，多成因矿床包括了成矿物质的多源性、多种成矿地质作用的参与、多阶段的成矿作用（可以相隔数亿年，10多亿年）和多种含矿溶液的混合。当然，这四

种情况不一定在每一个多成因矿床都出现。一般说，这四种情况是既有联系又有区别的。

从另一个角度看，至少在目前，多成因矿床的成因模式大致有：叠加成矿，活化或再造成矿，沉积—改造成矿和催化成矿（暂定名）。相信，随着时间的推移，更深奥的成矿作用被揭示，多成因矿床的成矿模式肯定会增加。

主要参考文献

- (1) 某硫锰—碳酸锰矿床成因的几点初步看法，陈培湘，《湖南冶金地质》，1975，No. 3
- (2) 柴甘山矿区构造特征与锰矿改造的关系，湖南冶金246勘探队，同前，1978，No. 2
- (3) The Manganese Ores—Updating of the Publication Prepared together With P. Ramdor, G. Frenzel, In Abstracts, 25 th International Geological Congress, Vol. 8
- (4) 某区磁铁矿床中钠质交代作用的特征及其找矿意义，沈保丰、陆松年、于恩泽，《地质科学》，1977，No. 8
- (5) Изотопный состав серы сульфидов медно-киселевых месторождений и рудопроявлений Норильского района в связи с вопросами их генезиса, Виноградов А.П., Триненко Л.Н., 1966, Геохимия, № 1
- (6) 我国内生铁铜矿床与膏盐的关系，草广金，《地质与勘探》，1978，No. 8
- (7) 沉积变质—热液交代型稀土、铁矿床的成因特征，王仲刚、李绍柄、苏贤泽，《地球化学》，1973，No. 1
- (8) Genetic Models of Porphyry Copper Deposits, G. Westra, In Abstracts, Granitic Magmatism and Related Mineralization, 1979, The Society of Mining Geologists of Japan
- (9) Fluid Inclusions of Some Porphyry Copper Deposits in the Southwestern Pacific Region, S. Takanouchi, ibid
- (10) Fortschritte in der Erkenntnis Sekundär-Hydrothermalen und Regenerierter Lagerstätten, V. H. Schneiderhohn, Neues Jahrb. Min. 9~10, 1953,
- (11) 我国某些方铅矿中的铅同位素分析，张翼翼、邱纯一、毛存孝、洪阿实、霍卫国，《地质科学》，1964，No. 2
- (12) 关门山铅锌矿床成因问题的探讨，《长春地质学院学报》，1975，No. 1
- (13) 对于勘探中国铁矿问题的初步意见，《地质学报》，1953，33卷2期
- (14) 变质作用及成矿，董中葆编著，长春地质学院，1973
- (15) Fluid Inclusions as Samples of the Ore-forming Fluids, E. Roedder, 1960, International Geological Congress, Part 16
- (16) Environment of Deposition of Stratiform (Mississippi Valley-type) Ore Deposits, from Studies of Fluid Inclusions, E. Roedder, 1967, Econ. Geol. Vol. 8
- (17) Precipitation of Mississippi Valley-type Ores, G. M. Anderson, 1975, Econ. Geol., Vol. 70