

金矿床的形成条件与类型在地质史上的演化

确定成矿过程在地球发育史上所处的地位,是研究矿床成因的一项重要任务。解决这个任务,在理论上可以进一步认识地质过程总的演化状况;在实际上可以帮助预测和评价不同时代、不同类型大地构造范围内的各种矿化点。如果和有关矿化空间分布规律的工作相比,研究成矿作用在时间上的演化则做得较少。

针对已发表的世界近一千个金矿床的资料进行分析,并结合在苏联的金矿区和含金地帯的工作成果,笔者认为可以划出以下五个金的成矿期:

1. 太古代成矿期,指的是在古老地盾绿色岩带形成的金矿化。
2. 元古代成矿期,主要指的是在原始地台和原始地槽条件下形成金矿床。
3. 古生代成矿期,指的是从里菲期到古生代的地槽-造山系中形成金矿床。
4. 中生-新生代成矿期,指的是地球发育的大陆-海洋阶段在构造岩浆活化过程中金的富集。
5. 现代成矿期,指的主要是在晚第三纪-第四纪大陆条件下形成砂金矿。

以上几个成矿期的命名是相对的,因为往往不能完全包括相应的地质年代所代表的那段时间,而且由于在矿床成因方面的时间间距概念还研究得不够,所以这几个成矿期的叫法也很不一致。

太 古 代 含 金 期

太古代含金期包括了最古老的绿色岩带的形成时间,而这段时间的长度可以说是很有限的,即在35~25亿年之内。这种岩带,在加拿大、西澳、南非、罗得西亚、印度和圭亚那等

程度;微量杂质的成分对晶体晶习影响不大。

有人指出存在着两类闪锌矿:1)热液铅锌矿床所特有的四面体或立方八面体;2)菱铁矿、萤石-重晶石和交代型铅锌矿床所特有的十二面体(较年青的类型)。

板状的辰砂晶体多生成于矿体上部的破碎带内,这里由于温度、压力急剧减低,辰砂与玉髓状石英、高岭石和其他矿物的泉华集合体伴生。等轴状的、晶面很多的晶体常分布于矿体下部,见于具有普通的角砾构造的矿石中,含有十万分之几的铜、铅、锡等和1%的锌。较大的柱状晶体分布在前两类的

更下部,所含杂质比第一类多,但比第二类少。最常见的是晶面 $\{10\bar{1}0\}$ 和 $\{10\bar{1}2\}$ 发育的晶体。六方柱的头部常生成许多晶面。

综上所述,作为地球化学指示标志的硫化矿物,可从以下几个方面研究:1)化学成分;2)类质同象杂质及硫化物中发生的多型转化(不同温度下);3)在压力影响下硫化物中发生的转化;4)介质的pH和Eh对硫化物成矿特性的影响;5)形态成因特征。

鲁 宁译自:《Геохимия》,
1976, № 10,
СТР. 1451~1461

作者:В.В.Щербаков

古老地盾均有所知，在俄罗斯地台和西伯利亚地台基底的某些地段也有发现。所有这类岩带都是含金的，或是潜在含金的。

世界上规模最大的金的集聚，例如加拿大的波丘潘（总开采量约1600吨）和克克兰—累克（700吨），澳大利亚的卡耳古尔利（1200吨）以及印度的科拉尔（800吨），都属于太古代含金期。

这个时期含金区域的最大特点就是地质环境非常稳定。所有的含金区均产于基性火山岩发育带，四周广泛出露花岗片麻岩和花岗岩。火山岩的变质程度一般不超过绿色片岩相，但在个别区域或某些部分可以达到角闪岩相（印度地盾和部分西澳地盾）。这些火山岩层发育地区的构造，长期以来公认为向斜，而且是当作“绿色岩冰川槽”加以描述的。某些研究人员认为有一种说法比较可信，即把这些火山岩看作是形成于刚刚产生的、厚度不大的地壳的开断层带。

属于这个最古老时期的金矿床，特点就是普遍赋存于上述绿色岩带中延伸很大的陡倾线状片理化带。这里有一个很恰当的例子，即加拿大东南部的“克克兰断层”。该断层延伸约200公里，赋存有焦耳—艾奇逊、马拉耳吉克、卡迪拉克、西斯克、拉马克、西格马等若干大型金矿床，从中已采出的金的总量估计不少于1600吨。又如，西澳的撒杰伦—克罗斯—布尔芬契狭长片理化带，形态严格是线状的，展布长度达100公里。类似的例子还有许多。

除陡倾的片理化带以外，火山带范围内的某些大型金矿田还受到轴面近于垂直的挤压等斜褶曲发育带的控制。此类褶曲发育带的展布距离也很大，印度的科拉尔金矿田就是一例。

这个成矿期内的金矿床与以后各期的相比较，矿物成分相对来说是简单而又变化不大的，主要属于石英、硫化物—石英和硫化物建造；矿物类型则以含黄铁矿型、磁黄铁矿—黄铁矿型和碲化物型为主，三者合计保证了本期所有矿床采金量的80%以上。碲化物型矿石的矿床规模最大，碲黄铁矿型在太古代含金期分布不多，矿床规模也不大。多金属硫化物型和硫酸盐型的金矿化，在矿床的数量上和含金量上，只起次要的作用。

就矿床的形态来看，多数为脉状，但金的数量最大的则集中在脉状矿化带和细脉浸染矿化带。陡倾矿体和垂直矿体占绝大多数，而且向下延伸的距离相当可观，可以见到不十分明显的垂直分带现象。

本期金矿床的成因特征虽然在不同地区的研究程度不一样，但在一定程度上仍然可以得出有关所有这类古老金矿床统一的成因结论。根据矿化发育的阶段、近矿围岩改造的性质和成矿作用的温度条件来判断，所有这些矿床都属于热液成因，形成的深度相当大，形成时的物理—化学环境稳定。在局部地区可以见到迭加于矿石的变质现象，但仍掩盖不了原始热液过程的痕迹。

关于形成这类古老矿床的热水溶液中金的可能来源问题，研究程度最高的是在加拿大地盾。Goodwin在论述金矿化赋存规律的著作中提到，凡是火山岩分布区域金矿床集中的地段，在火山岩的厚度普遍加大的同时，一套不均匀的岩系也得到发育，其中既有基性喷出岩，也有酸性分异物，两者主要形成次火山岩体和浅成岩体。由于这种空间上的稳定共存，使得整个金矿化与太古代玄武流纹岩岩系的发育有关。对这个说法还可以举出一个补充的论证，就是后来的花岗岩类和伟晶岩穿插金矿体。

其它古老地盾的现有资料也证实了Goodwin的这个结论。在古老地盾的含金地区，不仅

普遍确认金矿化在空间上与太古代火山作用的表象有关,而且可以确定火山岩系的酸性分异物。

因此可以认为,这个最古老的太古代含金期的典型特征就是含金的热水溶液曾达到很深的部位,而金矿化的形成很可能与分异程度相当高的玄武岩浆有关。

元 古 代 含 金 期

这个时期并不包括整个元古代,只限于22~18亿年的阶段。本期和太古代之间还隔有一段相当长的地质时间,其间虽发生过强烈的构造活动与岩浆作用(例如,格林威尔地壳变动),但并未形成、或者说尚未发现形成有一定规模的金矿化。

元古代含金期多数金矿床的赋存条件和前述的太古代含金期有原则的区别。多数矿床,首先是最典型的和最大的,都是相互隔绝的,如果说也有呈线状“练索式”的分布,也是从属于一定的容矿围岩层位,而不是构造带。代替那种线状的分布方式,本期金矿化的主要赋存因素是台阶式的排列。此外,由于相应地分布有复杂变位的褶皱层,所以某些矿床的矿体向深部延展很远。

本期金矿床最典型的代表是知名的南非的维特瓦特兰德金矿,其总采金量估计在35000吨以上。有关该矿床含金砾岩产出条件、形态和矿物成分等资料已多次见于文献,在此不予重复。

除维特瓦特兰德矿床之外,在这同一段地质时间内,在相似的地质情况下,还形成了其它一系列古老砾岩型的金矿床。例如:加纳的塔尔科瓦,巴西的札柯宾纳以及其它国家的若干矿点,规模虽远不及前者,但类型相同。

现有的资料说明,所有达到工业品位的含金砾岩都属于早元古代范围内一定的地质时期。对此虽有不同意见,但在地质资料上和找矿实践中都得不到证明。

根据以上分析可以提出这样的设想,即在元古代含金期这个时间内,还产生了一系列金矿床,其中也有相当大的,并且和含金砾岩一样与围岩具有同生来源。如果把这些矿床加以对比,就可以发现它们的共同特征。在不同程度上能够列入这类矿床而加以比较的是:美国的霍姆斯杰克矿床,加拿大的弗林弗隆、谢里特-戈尔登等含金的硫化物矿体,巴西的莫鲁-维里尤、帕萨热姆、拉波佐耶,澳大利亚的特南特-克里克,非洲的庇尔格里姆斯列斯特、基洛,谋托及其它一系列小型矿床。

上述矿床的共同点在于这几方面:矿化受地层控制,缺乏明显的矿石沉积的阶段性,矿物成分简单和变化不大。在部分矿床上进行的某些工作足以证实金矿化与围岩是同生的。比如,对最大的霍姆斯杰克矿床来说(总采金量超过900吨),矿石与围岩的硫、氧同位素比值即可证实。另外,许多资料都已介绍过巴西金矿床的矿化与围岩以及层状矿体的同生现象。

这些材料使我们得出一个结论,即元古代含金期总的特点是以成矿物质的再沉积为主,与太古代含金期成矿物质从地球深部进入的情况不同。还要指出,本期特有的这种矿化成因不仅限于金。在这个时间范围内,已知的还有铁、铅、铜及其它金属的大型层状矿床。

元古代成矿期的含金特点以及整个的含金属的特点,无疑不是一种偶然现象,而受这时地球发育总趋势的制约。从许多研究工作的资料来看,此时地壳的构造分异较弱,地台地块开始广泛发育,出现了陆地准平原化和风化过程。

古 生 代 含 金 期

这个时期包括了从里非期到古生代形成的金矿床,大致是9~2.5亿年的时间。在本期和上述的元古代含金期之间,隔着一段相当长的地质时间(18~9亿年)。在这个间隔期内,含金的程度很低,或根本不存在。

与更早的时期相比,本期的特点是金矿床的建造与类型多种多样。除去各个成矿期都同样具备的所谓“贯通式”建造,即石英建造、硫化物建造和硫化物—石英建造之外,这时还出现一些属于含硫化物或不含硫化物的玉髓—石英建造、铝硅酸盐(夕卡岩)建造和重晶石建造的矿床。尽管这类矿床为数不多,规模不大,但这种建造多样化的现象说明本期的地质情况与前几期相比有了变化。

这一时期金矿床的矿物类型也是多种多样的,主要表现在以下几方面:①黄铁矿—毒砂型占优势,硫化物—多金属型和黄铜矿型也相当发育;②矿石中常见钨、铋、锑矿物;③矿石虽较普遍见有少量碲化物杂质,但缺少纯碲化物矿物类型。

本期的金矿床,无论在容矿围岩地层方面,或是在构造方面,赋存的条件也是广泛的,完全符合它们的建造与矿物类型的多样化。如果把讨论的范围只限于金矿床,综合含金的排除在外,可以看出矿化出现的条件也有很大的共性。这种共性表现于金矿化的形成是在向造山带过渡的地槽系的发育晚期阶段,即相应地是在上升运动为主和花岗岩类岩浆发育的时期。试把西伯利亚地台南缘贝加尔岩体以及乌拉尔、天山、西西伯利亚、东澳大利亚和中欧古生代地槽系含金区的金矿化与岩浆作用的相关关系加以分析可以看出,金的矿化在时间上和花岗岩类岩浆作用的出现一致。金矿化的形成,一般是在区域性的花岗岩化、超变质作用以及继之而来的复杂成分的花岗岩类岩系(辉长岩—花岗闪长岩—斜长花岗岩岩系和英闪斜长花岗岩岩系)侵入以后。金的矿化与花岗岩期后中性、基性岩株杂岩体的关系,在时间上最接近,在空间上也相当常见。此外,大部分钾质淡色花岗岩一般属于成矿期后。

在构造方面,本期金矿化赋存最普遍的特点是矿床分布从属于大型背斜隆起和交插断层的枢纽部位,以及与这些断层共轭的局部断裂交汇。

古生代含金期除金矿床之外,还广泛分布有以铜和铅锌为主的综合型含金矿床。这类矿床的多数形成于优地槽系的早期发育阶段,而优地槽系晚期阶段的含金程度无论在数量上和类型上,一般都与早期是否存在综合矿化无关。

在本期的金矿床当中,显然还有单独的一类是形成于近地表的条件下,属于玉髓—石英建造并含一定的硫化物。这种矿床见于中亚(库拉明矿带)和哈萨克斯坦(巴尔喀什湖附近的准噶尔矿带),在东澳大利亚海西褶皱范围内进行的成矿分析,也发现此类矿床(克拉可夫、克劳伊登、芒特—库龙)。这些矿床普遍和钾质专属性的后生安山英安流纹岩火山作用有关。

中 生 — 新 生 代 含 金 期

单独划分出这个中生—新生代含金成矿期是有必要的,尽管它在时间上和前一期很接近,当中没有一个“无矿”的地质上的间隔期,但从金矿化的赋存条件、矿床主要类型以及含金程度与岩浆作用的关系来看,应该是个独立的时期,且与中生—新生代属于地球构造发育单独阶段的情况一致。前边提到,有人建议从中生代开始把所有的地质体划为地球发育的

一个特殊阶段,即陆地—海洋阶段或后成新热带区阶段。这种意见认为,后成新热带区阶段的主要特点在于年青的海洋的产生,太平洋的“更新”以及后成地台造山带的形成。这个阶段的地槽系也与古生代的有原则的不同,不是环绕在更早的坚实地块的四周,而是充填在固结的褶皱构造,从而在地质发育的方向上与构造—岩浆活化区接近。

本期的含金程度主要表现在太平洋矿带范围以内,其次是地中海—喜马拉雅矿带的矿床。

在金矿床的赋存条件方面,出现了前几期不具备的新特点,起主导作用的是大距离延伸的区域断层带的穿插,因此使含金地区在整体上形成地块构造。正是针对本期的这类矿床,过去和现在都有人研究并提出了所谓“断层网”、“金属排出口”控制成矿的说法,而这种意见又往往不恰当地搬用到其它时期形成的含矿区。

一系列地区的两个构造阶的影响,是本期金矿床的另一赋存特征。在上部的地台构造阶,近似水平的构造因素对矿体的赋存起主导作用。

除上述的以外,不少地区金矿床的分布也受前一个成矿期特有的那些地质因素的制约,例如:矿床普遍赋存于背斜隆起,金矿化与花岗岩类岩浆作用有关。

在前一个成矿期开始出现的金矿床类型与建造多样化的普遍趋势,到本期仍然继续存在。前一期只是刚刚产生的金—玉髓—石英建造和金—硫化物—玉髓—石英建造,在本期已是分布广泛的一种特殊建造。就是象金—硫化物—石英这种建造,复杂的多金属硫化物和硫酸盐矿物类型的矿床占优势,而单一的黄铁矿型和黄铁矿—毒砂型只起从属作用。还应指出,本期还形成了碲化物矿物类型的金矿床,并构成大型金矿田,如:美国的科里普—克利克,斐济的塔屋阿,菲律宾的阿库潘等。

这一时期矿化的许多特点,无疑是由于矿化与相应的岩浆建造有关。按照这个标志,首先可以区分出与大陆边缘火山带有关的含金现象以及与大陆内地火山带有关的含金现象。最古老的太古代成矿期的金矿床是与似玄武岩岩系有关,而在本期则是已分异的安山英安流纹岩岩系含矿。这个岩系明显带有钾质专属性,说明在其形成时壳层物质起了很大作用。

中生—新生代成矿期除火山成因的金矿床之外,还应该见有相当发育的深成金矿化。这种矿化与中性和基性的岩株杂岩体有共生关系,在更小的范围内与花岗岩类有关。

现 代 含 金 期

把晚第三纪—第四纪形成的砂矿列为单独的一个含金期,可以相对地叫作现代含金期。这个成矿期与前几期相比,时间延续虽然不长,但就矿床的产金量来说则不相上下。古生代和中生代的砂矿已知也有某些金的堆积,然而规模太小,对世界上任何一个金矿省的面貌都起不了决定性的作用。构成规模最大的砂金矿或混合型金矿省的大量砂矿的形成,则与世界范围内金的赋存地质条件的重大改变有关。

原生金矿和砂金矿的生成年代揭示出矿床的形成时期是本期与前一期迭加的。年青构造系的一系列原生金矿,特别是太平洋矿带的金矿,其形成时间与许多其它地区晚第三纪的砂矿相同甚至更晚。

砂矿与原生矿无疑有关,但两者含金规模的相比关系,在不同地区都有很大差别。在世界范围内,可以明显划出几种不同的含金区:一种几乎是纯属原生含矿区,如加拿大地盾、西澳大利亚等地;另一种几乎纯是砂矿区,如阿拉斯加;再一种则是砂矿与原生矿二者发育

程度大体相当，如加利福尼亚、东澳大利亚、乌拉尔中部等地。同时，成矿分析表明，金在砂矿中积聚的决定性因素是相应地区的新构造条件。凡在总的沉降趋势下伴随适当的地块相对运动的区域，有助于疏松破碎层的堆积，对形成砂矿也最有利。

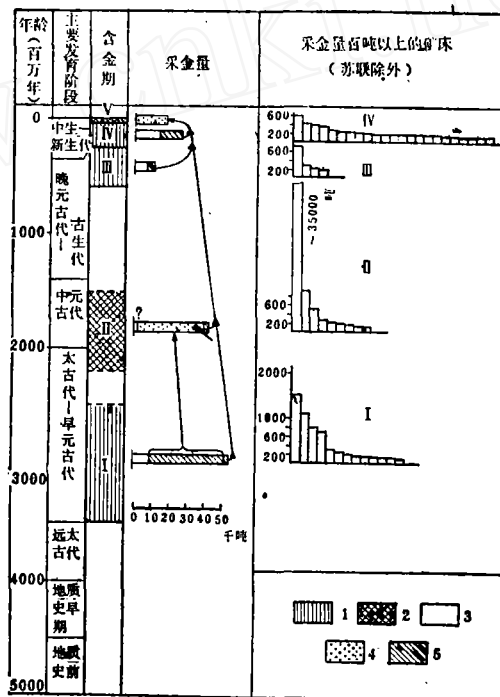
因此，正是本期而不是前几期的这些特点决定了砂金矿成矿省的形成。至于其它因素，诸如原生矿床的类型，首先是原生矿床金的粒度以及原生金矿化的分散程度等等，只起次要作用。它们一般并不决定是否存在砂矿，而仅仅控制其分布、类型和规模大小。

含金程度总的演化

从以上划分的几个金的成矿期的概述首先可以得出一个总的结论，即方向上的不可逆性由于金的成矿特点周期性的发育而复杂化。矿化发育的方向性总地表现为在时间上金矿床赋存条件的复杂化和矿床类型更加多样化。周期性主要表现在以金的内生富集发育为主的时期和以外生富集发育为主的时期交替出现。

有关上述几个含金成矿期的若干定量资料可参见附图。图中清晰表明由古到今各成矿期的延续时间逐渐减短。同时还应看到，各期含金数量的对比反映出在地质年代推移演化过程中地质作用普遍加快。在各成矿期之间，直到年代最近的交迭时期为止，“空白”的间隔逐渐减少也说明地质作用的加快。

作为对含金成矿期特点的补充说明，图中还按时期分别列出了含金量在100吨以上的大型矿床。这些材料虽不完整，但也足够清楚地表现出矿床规模在时间上总的变化趋势。最古老的成矿期，矿床规模也最大；时间较近的成矿期，矿床的数量普



各成矿期采金量的分布（苏联除外）

1~2——含金现象为主的时期：1—内生矿化，2—表生矿化；3~4—矿床的采金量：3—内生矿床，4—古老矿床和晚第三纪—第四纪矿床；5—转入表生富集并再沉积构造时代较晚的矿床的金的数量；含金期：I—太古代，II—元古代，III—古生代，IV—中生—新生代，V—现代

遍增加,但具体矿床的规模减小。

各个时期矿床金的主要来源也不相同。在地质史上确定有两个时期以原生金的进入为主,即太古代和中生—新生代。其它各成矿期基本上或是在表生条件下(元古代和现代),或是在生成花岗岩的壳层内部作用下发生金的重新分布。在后一种情况,壳层内部作用达不到完全同化,而伴随有原生物质从壳层以下深部补充进入。

太古代和中生—新生代成矿期虽然在具有原生金矿来源这一点上相似,但又有区别,即岩浆同化的壳层作用在中生—新生代比在太古代表现得更强。

矿床的金的不同来源直接反映在矿石成分上。例如,碲化物型金矿床几乎全部依靠原生含矿物质而形成于太古代和中生—新生代。矿石中的钨、铋、锑等矿物对古生代最有特征意义,因为这个时期具有岩浆同化花岗岩类的矿化来源。

除上述的几个含金成矿期以外,如果对某些地区再作更详细的成矿分析,还可以划出若干生成金矿床的作用较强的阶段,其间则由“空白期”或只产生少量矿床的时间隔开。这种成矿阶段尤其是在研究较多的古生代和中生—新生代含金期看得最明显。有些人认为,这种成矿阶段也和几个大的成矿期一样具有世界性的意义。这个看法不能说毫无根据。

每一个成矿期特有的金矿化的形成条件在下一个成矿期部分地重新出现,也是一个相当重要的现象。这种重复出现,无论在发育强度上,还是在地质条件上,都只是部分的,而不是全部。比如,与玄武岩类火山活动带演化有关的含金现象,本是太古代的特征,但到古生代早期阶段似乎再次出现,而导致形成的不是金矿床,却是含金的黄铁矿类矿床。另一方面,在古生代晚期阶段,一定程度上发育有某些在空间与成因上与安山英安流纹岩火山作用有关的近地表金矿床。这种矿床在下一个中生—新生代成矿期则是广泛分布的。

本文只是最一般地讨论了地质史上金矿床赋存条件、类型和主要成因特征的演化。所划分的含金成矿期的一般特点,可在具体地区的金矿床预测和确定找矿方向时参考。必须注意一个主要的实际的结论,即每一个成矿时代金矿化的赋存规律不可能照样套用到另一个时代,或者至少是有限的。此外,同一时代金矿床已知的成因共性,针对新发现的以及年代相近地区研究较少的矿床来说,可以更加确切可靠地典型化并作出评价。

结 论

一、针对金的普遍成矿作用的分析,划出五个含金成矿期:太古代、元古代、古生代、中生—新生代和现代;每一个时期都有由地质史上主要特点形成的自身特有的矿床类型与赋存条件。

二、在地球的历史发展过程中,金的内生富集和表生富集为主的时代迭出出现;内生金矿化的演化表现为赋存条件的复杂化和矿床类型更加多样化。

三、原生金的进入在成因上与玄武岩类岩浆的演化有关,主要是在太古代和中生—新生代。就古生代而言,主要是在花岗岩形成作用下壳层内部金的重新分布。元古代和现代含金期的特点主要在于金的富集属于表生条件。

四、以上各含金成矿期的特征,可供不同地质史的地区预测新的含金地带和评价新发现的金矿点时参考。

薛意译自:《Геология рудных месторождений》

1976, № 5, стр. 3~13

作者: С. Д. Шер