第21卷 第2期
1985年2月

地质与勘探
GEOLOGY AND PROSPECTING

Vol. 21, No. 2
February, 1985

# 变质热液中金的来源

刘 平

（武汉地质学院）

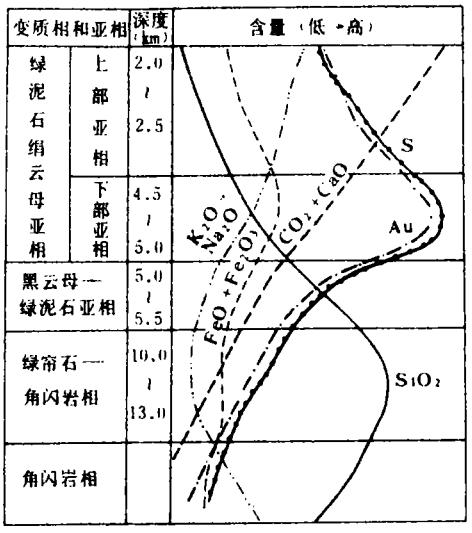
地质·矿床

我们知道，变质热液一般可分为区域变质热液和花岗岩化（即混合岩化）热液。这两类热液既有联系又有区别。两者之间的联系主要反映在花岗岩化作用通常是在区域变质作用的基础上发展起来的，并且经常在同一次构造运动中进行。但因受力强弱、热流值高低等的不同，从而导致变质作用的方式有所差异，即两者又有区别。区域变质热液指的是岩石变质时没有外加组分参与，岩石在没有或极少有熔融的情况下，即在区域变质作用过程中产生的热液；而花岗岩化热液则是在岩石变质时有外来组分加入，并且部分组分可能在呈熔融状态的条件下，即在超变质作用过程中产生的热液。由于有这种区别，它们中金的来源机制也就略有不同，所以，我们将其分开讨论。

## 区域变质热液

关于区域变质作用能形成含金的成矿热液，已有很多总结资料证明，并得到了肯定的答案。总结中最有说服力的现象是：①变质作用过程中，随着变质程度的加深，变质岩石的含水量逐渐减少；②同一地区变质程度不同的变质岩中金含量有明显差异，并且这种差异具有普遍意义。

附图是同一地点同一次变质作用中不同岩相中金及其他元素的含量和元素的带进、带出情况。从图可见，随着区域变质程度的不断加深，金不断被带出，因而岩石变质程度越高，金含量越低。例外的只是绿片岩相带下部最高，这只能说明在深变质作用过程中带出的金在绿片岩变质相中重新沉淀下来了。实际上，变质热液金矿大部分都产在绿片岩相变质岩石中。绿片岩相之所以有利成矿，一般认为是其温度和压力对金的沉淀有利。自深变质带中流出来的高温高压含金变质热液流入绿片岩相变质带的范围时，由于该变质带内的温度和压力（$T$ = 200～400℃，$P$ = 1～3千巴）对金的沉淀有利，容易导致金的络合物分解，从而使金沉淀并富集成矿。变质热液金矿的液态包裹体特征（低盐度、富$CO_2$），变质




博达依宾向斜倾伏处中心部不同变质相（不同深度）金和某些元素的含量变化示意图

（据B．A．布尔雅克资料综合）

热液金矿主要产于古老地台复向斜构造之中，以及断裂对金矿的明显控制作用，都说明金是自深



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

部变质带迁移来的。这是因为，经过长久剥蚀之后，复向斜部位实际上就是浅变质带，而背斜就是深变质带。由于背斜顶部的低变质带被剥蚀而极少见矿化。在复向斜中，断裂对变质热液金矿的控制，反映了成矿热液来自深部的变质岩。

但是，金是如何在变质作用不断加深的过程中从未变质（或弱变质）的岩石中释放出来进入变质热液的呢？本文试图根据变质作用的机理加以说明。

以泥质岩的变质作用过程为例，随着变质程度的加深，泥质岩等化学系列的变质岩依次变为泥质岩→板岩、千枚岩→云母片岩（白云母片岩、黑云母片岩、二云母片岩、石英云母片岩）→黑云母片麻岩。从矿物成分来看，与泥质原岩相比，上述岩石变质程度越深，变质岩中的矿物组合替换次数就越多，也就是矿物中的组分经过再分配的次数越多，或者说原岩物质的改组次数越多。实验和野外资料都告诉我们：这种改组，没有水等挥发分的参与几乎是不可能进行的。在水等挥发分的参与下，每一次物质的改组和再分配必定会使一部分组分因为变质流体的运动而发生迁移。物质改组和再分配的次数越多，变质作用中活动组分被迁出的也就越多。各变质带成分的变化就是证据（见图）。从金的性状来看，它在变质作用中（尤其是在中高级变质作用中）不是惰性组分，而是活动性组分。那么金又是如何从岩石中进入到变质热液中的呢？总括起来主要有如下两种方式：

1．**重结晶过程中的净化作用**　主要是在较低的温压条件下（变质作用初期）起主导作用。重结晶作用的结果是部分细小矿物颗粒结晶长大。一般认为，伴随着部分矿物颗粒的长大，必有部分颗粒消失。这些消失颗粒的组分通过媒介——水——扩散到长大的颗粒上。显然，在这些颗粒的消失、组分的扩散和矿物的重结晶过程中，原来细小颗粒中所含的和颗粒表面所吸附的（可能还包括矿物颗粒之间的）杂质元素（多为成矿元素）就会进入热液，而长大的颗粒也会因此得到“净化”。可见，不仅区域变质作用可形成含矿热液，伴随有重结晶的接触热变质也可以形成含矿热液，只不过经济意义不大罢了。

在脱玻化、有序化、重结晶过程中，岩石和矿物中的杂质元素被挤出矿物而使其自身得到净化。这些被挤出的杂质元素可能为变质热液提供一部分成矿物质的来源。由此可以认为，重结晶（包括脱玻化、有序化等）过程中的净化作用，对于火山岩在低变质时金的带出具有十分重要的意义。众所周知，与太古代变质金矿关系密切的岩系，都有由巨厚的海底火山喷发物变质而成的岩石。这种巨厚的火山喷发物主要由超基性和基性火山岩组成，其上部是快速堆积形成的巨厚碎屑岩。在这种巨厚的火山喷发物形成时，地壳运动频繁而强烈，地面高差大，沉积速度很快，地热梯度值较大，因而，火山物质一从水下喷出，很快就会被碎屑沉积物覆盖并被深埋，从而在较高的温度、压力条件下发生脱玻化作用及重结晶作用，使其中的金等成矿元素进入热液。由此可见，这些火山喷发物的脱玻化、有序化和重结晶并不是自动地缓慢地进行，而是在外界的影响下被动地、相对较快地进行。所以，这里所说的脱玻化、有序化和重结晶作用也应该属于变质作用的范围。

2．**变质反应过程中活动性成矿元素的活化转移**　变质作用过程中，随着岩石所处的物理化学条件的变化，岩石中的矿物组合也随之发生变化。这种矿物组合的变化一般都是通过变质反应来实现的。在变质反应过程中，必然有一部分新矿物形成和一部分原有矿物消失。变质反应的过程实际上也就是一部分物质的重组合、再分配的过程。随着变质作用的进行，在原有矿物消失和新矿物形成的过程中，原有矿物中的活动性杂质元素就会被释放出来进入变质热液。虽然相邻变质相可能有一部分矿物种相同，但就是这些深、浅变质相中共有的矿物，在深变质相中实际上也并不是浅变质相中矿物的残留，这是因为在较深变质相的变质岩石中极少见到矿物的交代残余。由此可见，只要形成一套新的矿物组合，变质岩石的原来组分就至少经历了一次改组和再分配，就会伴有成矿元素的活化转移。变质岩石的变质程度越深，其矿物组合与变质原岩相比所进行的



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿物组合的交替就越多，也就是组分的改组和再分配的次数越多，因而活动性成矿元素也就活化转移得越多；甚至连原来活动性低的组分，随着变质作用的加深，也变得具有较强的活动性，从而岩石中的活动性成矿元素组分的含量就越低（见图）。同时，高级变质岩的矿物中活动性成矿元素的含量，比其他岩石（岩浆岩、沉积岩及其他区域变质岩）的同种矿物中的同种元素的含量也要低。例如，对金而言，片麻岩中的黑云母、角闪石及长石的金含量比其他区域变质岩石和岩浆岩、沉积岩中的同种矿物的金含量都要低。

## 花岗岩化热液

花岗岩化作用一般可分为两个类型，即所谓区域性花岗岩化作用和边缘花岗岩化作用。前者与区域变质作用有关；后者则发育于侵入岩浆岩体的边部，是岩浆侵入过程中分凝出来的碱质对围岩交代的结果，与区域变质作用无关。实际上，有时并不好区分这两种类型的花岗岩化作用。我们认为，如果按花岗岩化作用与区域变质的主要阶段（区域变质岩形成的主要时期）之间的时间关系划分为“近同时花岗岩化”和“后花岗岩化作用”，可能对于识别不同类型的花岗岩化岩石（混合岩、花岗岩）和指导找矿都更有意义。这一点我们将在后面论述。“近同时花岗岩化作用”指的是花岗岩化作用与区域变质作用的主要阶段同时或紧随其而进行，而“后花岗岩化作用”指的则是在区域变质作用的主要阶段之后，在又一次区域或局部变质作用（如边缘花岗岩化作用等）过程中所发生的花岗岩化作用。

不论是“近同时花岗岩化作用”还是“后花岗岩化作用”，它们所形成的热液的性质、热液中成矿元素的来源和成矿元素进入花岗岩化热液的机理，都是相似的。花岗岩化热液中的水和挥发分来源于导致花岗岩化作用的岩汁和遭受花岗岩化的岩石本身。成矿物质的花岗岩化作用过程，主要由于岩汁对岩石的广泛、深刻的交代而被从原来赋存的矿物中释放出来进入热液。这一点可由不同程度的花岗岩化岩石的含金性加以说明。据朱奉三(1980)的资料，在山东招掖金矿带，花岗岩化最强的玲珑花岗岩含金平均0.0034 g/t，与地壳岩石金的平均含量相近，中—强花岗岩化岩石及残留体中含金为0.074 g/t，而未经花岗岩化作用的胶东群变质岩含金则高达0.163 g/t。另据广东省地质局七〇四地质队（1982）的资料，庞西洞金银矿区的条纹—眼球状混合岩含金0.01～0.047 g/t，而均匀混合岩含金只有0.008 g/t①。这些资料说明，花岗岩化作用越强，金带出得越多。

如何区别“近同时花岗岩化作用”和“后花岗岩化作用”呢？我们认为，应从花岗岩化岩石的特征及其与四周岩石（一般为区域变质岩）的关系着手。在野外及地质图上反映最明显的就是花岗岩化岩石与其四周岩石的关系。“近同时花岗岩化作用”形成的岩石位于变质带中心（在地质图上反映出来就是位于背斜或隆起的核部），并且随着远离花岗岩化岩石向四周依次按变质程度由深到浅分布着区域变质岩。“后花岗岩化作用”形成的岩石可位于不同变质程度的区域变质岩中。从大地构造的观点来看，“近同时花岗岩化作用”显然应在形成地台的变质作用之后没有很强的构造活动的地区，即在稳定地台上反映比较清楚，而“后花岗岩化作用”则可能主要在地台活化区比较发育。当然，最好的区别依据还是花岗岩化岩石与其四周的区域变质岩之间的形成时代关系：如果区域变质岩与花岗岩化岩石近于同时形成，则花岗岩化岩石系“近同时花岗岩化作用”形成；如果区域变质岩比花岗岩化岩石的形成早得多（一般至少要早一个构造期），则花岗岩化岩石系“后花岗岩化作用”形成。

显然，弄清楚某含金区的花岗岩化岩石的形成作用类型，对于指导找矿是很有意义的。由于“近同时花岗岩化作用”是与区域变质作用近乎同时进行的，并且花岗岩化作用一般在深部发育，所以，花岗岩化作用过程中形成的含矿热液就会向上迁移，与区域变质作用形成的热液混

① 广东省地质局七〇四地质大队一分队，广东廉江庞西洞金银矿地质特征及矿床富集规律，1982。



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

合，然后在绿片岩相中成矿。因而在“近同时花岗岩化”岩石四周就极少有金矿产出。考虑到大规模的、强烈的区域变质作用一般发生在前寒武纪，因此，前寒武纪形成的古老地台上出露的花岗岩化岩石一般都是“近同时花岗岩化作用”形成的。这可能就是为什么古老地台上的花岗岩化岩石四周极少见到金矿，金矿主要产在绿片岩相中的原因。由于“后花岗岩化作用”比区域变质作用的主要阶段晚，其形成的花岗岩化岩石四周的岩石变质程度不高，并且“在后花岗岩化作用”中，区域变质作用的强度不大，因此，由其形成的花岗岩化热液一经迁出花岗岩化作用区（有时甚至就在花岗岩化较弱的区内）就会因物理化学条件的变化而使金沉淀下来。所以，与这种花岗岩化热液有关的金矿，主要产于花岗岩化岩石四周。考虑到这种花岗岩化岩石是在区域变质作用之后形成，故一般应产在地台的活化区，时代一般较新（加里东期→海西期，甚至有的是燕山期）。

由“后花岗岩化作用”形成的金矿在我国辽宁的某些地区（如喀旗混合岩体四周的地区）比较特征。在那里，从空间上看，金矿往往围绕混合岩、混合花岗岩体边部展布。岩体中心金矿较少，靠近混合岩四周的建平群变质岩中金矿较多，并具一定规模（如玉龙、线金厂、隈子、塘前等石英脉型金矿床）。向外，变质岩中则为沉积变质型金矿（如四道沟、新房矿床等）。从时代来看，西闹子沟斑状混合花岗岩中褐帘石K—Ar法年龄值为550百万年，该混合岩附近的四道沟云母片岩，白云母K—Ar法变质年龄为1072百万年（该片岩中的金矿体方铅矿年龄为：$\phi$年龄500百万年，$Pb^{208}/Pb^{204}$年龄1099百万年，$Pb^{206}/Pb^{204}$年龄714百万年）。从K—Ar年龄测定结果来看，区域变质岩保持着较老的年龄值，说明在花岗岩化作用时，区域变质作用微弱。以上特征很明显地反映出花岗岩化作用比区域变质作用晚，花岗岩化岩石四周的金矿与后花岗岩化作用有明显的关系。

要指出的是，有一部分后花岗岩化作用表现为因为岩浆侵入时挥发分对周围变质程度不等的岩石进行的交代作用，即所谓边缘花岗岩化作用。这时，花岗岩化岩石，含矿热液及热液矿床的形成就与岩浆侵入作用发生了联系。例如：我们认为，广西望天垌金银矿的最终形成就可能与边缘花岗岩化作用有关。在该矿区，边缘花岗岩化作用系印支期及燕山期的富含挥发分的花岗岩浆侵入所造成。混合花岗岩沿印支和燕山期花岗岩的边部发育。矿主要形成于燕山期。遭受花岗岩化作用的岩石是在寒武纪沉积、在加里东经受中高级区域变质作用的区域变质岩（石英云母片岩、片麻岩、变粒岩）。金矿的形成可能主要与印支和燕山（主要是燕山）期的花岗岩浆侵入所导致的边缘花岗岩化作用有关。在富含挥发分的花岗岩浆侵入时，其中大量挥发分和碱质等活动性强的组分粘度小、穿透力强，很容易进入围岩并对围岩发生广泛而深刻的交代，使围岩花岗岩化形成混合花岗岩。在围岩的花岗岩化作用过程中，就伴随有组分的重新分配、矿物的改组，从而使岩石和矿物中的成矿元素金等迁移出来，并进入花岗岩化作用所形成的含矿热液。这种含矿热液在迁移到花岗岩化作用区的边部或花岗岩化作用区以外不远的地方时，由于物理化学条件的变化而使金沉淀并富集成矿。望天垌金银矿的这种成矿机理可由以下事实来说明：

（1）本区金银矿体与混合花岗岩、花岗岩有密切的空间关系。距岩体太近（及岩体内部），矿化不好，矿体规模小；距岩体太远无矿化。矿化一般距岩体不超过1～3 km。

（2）矿区内金、银矿化的分带，反映了成矿热液是自混合花岗岩区向外迁移的。在混合花岗岩边部及靠近混合花岗岩的区域变质岩中为金矿化带，矿石矿物为一套中高温矿物组合，矿石的Au：Ag为1:1～1:40。离混合花岗岩较远的区域变质岩中为银矿化带，矿石矿物为一套中低温的矿物组合，矿石的Au：Ag为1:50～1:1000（平均1:334）。

（3）矿体均赋存在构造断裂带内，而这种赋矿断裂带的走向均与混合花岗岩和加里东期区域变质岩之间的界线呈高角度（近乎垂直）相交。这种关系使得断裂构造成了极为良好的热液



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

通道；同时，又由于断裂带在混合花岗岩化作用时处于不同的变质条件之下，因此在花岗岩化区的边部及花岗岩化区外部边缘的断裂带又成了贮矿场所。

（4）岩石分析结果表明，本区寒武系变质岩含金量为0.01～0.05 g/t，比地壳丰度值高5～10倍，含Ag 6.25～22.5 g/t，比地壳丰度值高60～250倍。所以，当富挥发分、富碱质的岩浆侵入，活动性强的组分对围岩进行交代形成混合花岗岩时，金可以从岩石和矿物中被淬取出来进入热液。

（5）矿石的微量元素组成既不同于围岩（石英云母片岩、片麻岩、变粒岩），也不同于花岗岩和混合花岗岩，而兼有围岩与花岗岩的综合特征。光谱分析结果表明，矿石与围岩中的微量元素变化一致，而与混合花岗岩、花岗岩有所不同；同时，与岩浆期后热液有关的成矿元素W，Sn，Mo，Bi在矿石中普遍存在。这说明成矿热液中既带有从岩浆中带出来的成矿和微量元素，也有在花岗岩化作用过程中自围岩进入热液的成矿和微量元素，并且自围岩带入的较自岩浆带来的要多。

从望天垌金银矿床的形成机理，我们可以看到，变质热液（主要是“后花岗岩化”热液）与岩浆热液并不是绝对可以分开的。望天垌金银矿与其说是由变质热液（在这里指后花岗岩化热液）形成，不如说是由岩浆热液形成，因为形成矿床的热液主要来自岩浆。如果说由于含矿热液是在花岗岩化作用中形成（即成矿物质在花岗岩化过程中进入热液）就应该叫做花岗岩化热液的话，那么，由于自变质作用和岩浆热液对围岩的交代（硅化、绢云母化等）所形成的含矿热液（即成矿物质在自变质及岩浆热液对围岩的交代时进入热液）又该如何称呼呢？实际上，从已有资料来看，这种热液来自岩浆而成矿物质来自围岩的含矿热液所形成的金矿床，在我国内生热液金矿床中占有极为重要的地位，我们认为还是根据热液的主要来源把这类矿床归于岩浆热液矿床比较合适。

此外，笔者认为太古代绿岩带也有一部分金矿床的形成可能与“后花岗岩化作用”有关。这是因为在绿岩带的四周都分布有大面积的花岗岩化岩石，同时，绿岩带金矿床又趋向于产在较年轻的绿岩带中，而这种绿岩带中的金矿床同位素年龄值很分散，可能反映了成岩作用与成矿作用之间在时代上的差异。但由于绿岩带的岩石学、构造地质学等基础地质方面的研究还不很深入，要确定后花岗岩化对绿岩带金矿床的形成所起的作用目前还比较困难。

由上可见，虽然金在变质作用过程中有一定的活动性，但是金毕竟还是一个比较惰性的元素，所以，变质热液金矿床的形成都要有一个相当长的阶段，都要经过金的多次迁移富集。总的来看，变质热液金矿床的形成一般要经过如下几个阶段：①基性、超基性火山岩的脱玻化，部分金重新分配；②区域变质作用中的变质反应使金自高级变质带带出进入低级变质带，金初步富集；③花岗岩化使金进一步自变质岩石中带出，导致金的再一次富集。一个地区如果只经过前两个阶段，那么该地区只能见到零星的小矿床和矿化点；若经历了三个阶段，那么，就可能见到较多的中、小型金矿床；如果该地区经历了后花岗岩化作用，就可能在花岗岩化岩石四周（尤其是靠浅变质岩的一侧）形成较多的中、小型矿床，并可形成大型矿床。从世界上与变质带有关的金矿床的形成来看，大型金矿床的形成大多还需经过变质作用之后的岩浆侵入对含矿岩石和矿体的进一步改造。由此我们可以推测：太古代绿岩带中金矿床的形成看来也不是一次简单的变质作用所形成的，也有可能如前述有部分金矿床的形成与后花岗岩化作用有关。

本文经徐国风、邵洁涟老师审阅，深表谢意。

## 主要参考文献

[1] 王春生：地质与勘探，1983，第12期，第17～21页

[2] Phillips, G. N., et al.: J. Geol. Soc., Australia, 1983, V. 30, No. 1 & 2

[3] 朱奉三：地质与勘探，1980，第7期，第1～10页

[4] 陈庆达：地质与勘探，1980，第6期，第26～34页



© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net