

绿岩带及浅成热液型金矿成矿模式

韦永福

(沈阳地质矿产研究所)

近年来,国外矿床地质学家特别重视成矿模式的研究。当前成矿模式研究的趋势是从描述性的模式向成因模式、定量过程模式、产地概率模式、品位—吨位模式的方向发展,但由于成因理论上的问题尚未完全解决,统计资料难以收集齐全,后述三种模式的建立,仍是今后矿床地质工作者努力实现的目标。

介绍成矿模式的目的是利用模式所归纳的找矿和评价各种特征和参数,指导在地质条件类似的地区更有效地开展找矿活动。

目前国外对金矿床模式的研究和指导较多的仍以绿岩带中的金矿和中新生代浅成热液金银矿为主,这两大类金矿床都具有重要的经济意义,因此,做好如下介绍。

一、绿岩带中金矿成矿模式

绿岩带中的金矿受绿岩带的特点及发展演化规律所控制,由于成矿作用的复杂性,人们对产于绿岩带中金矿成因的认识也有很大差异,基于不同的研究阶段,建立了不同的成矿模式,大致有下面几种:

1. 变质分泌作用模式

含金矿源层在变形和变质过程中,通过脱水反应形成的变质水将矿源层中的金淋滤带出,在适宜的扩容带中富集形成含金石英脉。

R. W. 博伊尔研究了加拿大绿岩带中的金矿床,于1961年提出了花岗岩化—变质作用—扩容机制来解释前寒武纪绿岩带金矿成因。

博伊尔认为,前寒武纪火山堆积及伴生的沉积物,随区域变质发生褶皱和花岗岩化,从花岗岩化中心向外存在着温度梯度,花岗岩化导致了绿岩带变质相带的形成(图1a),许多 H_2O 、 CO_2 、S和一些亲铜元素被活化出来,沿着垂直等温线由高向低方向迁移。

如果岩石不产生任何构造破坏,其结果就会围绕花岗岩化的中心形成一个单纯的变质带,在某些前寒武纪岩层里就出现无矿地带。

造山运动和花岗岩化末期,往往容易形成规模巨大的断裂系统和剪切带,由于这种构造事件的结果,剪切破碎带发生扩容作用,使迁移矢量发生根本改变(图1b),围岩中活动的 CO_2 、 H_2O 、S和其它组分由剪切带向地表迁移开辟道路,由于剪切带和断裂系统的走向和倾向延伸很大,它们所切穿的围岩都受到了“一级”扩容带的影响(图2),而且有可能从水平或垂直方向上离矿化地点数千英尺远的剪切带和断裂系统里得

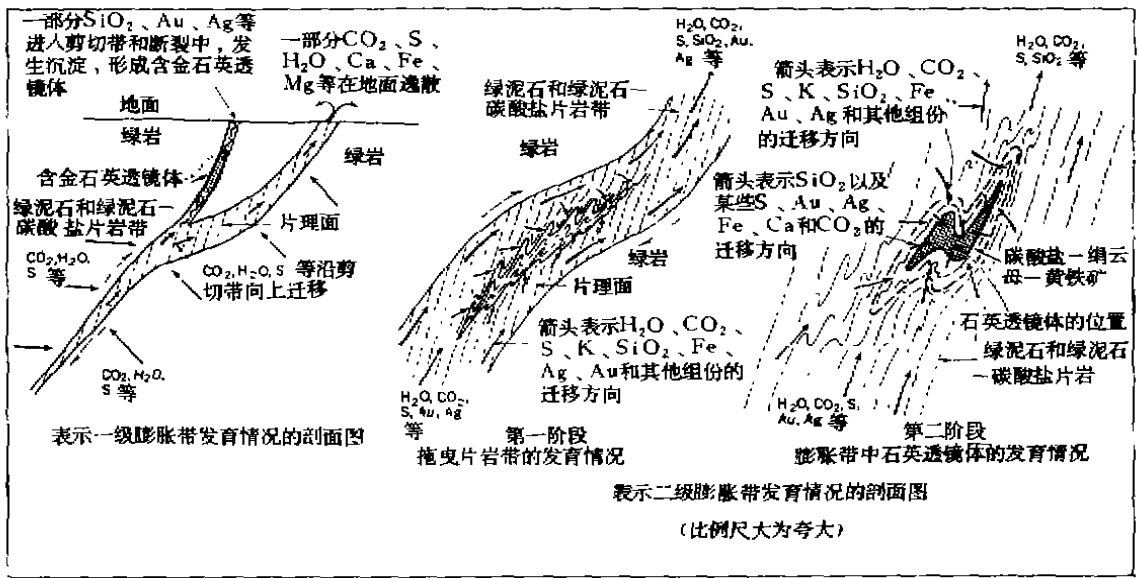


图2 一级和二级膨胀带、蚀变带和含金石英透镜体发育情况示意图

2. 早期岩浆作用模式

金的成矿过程——由岩浆分异作用阶段分离出热液，形成喷气流体，与环流的海水混合，散逸到海底参与矿石沉淀。

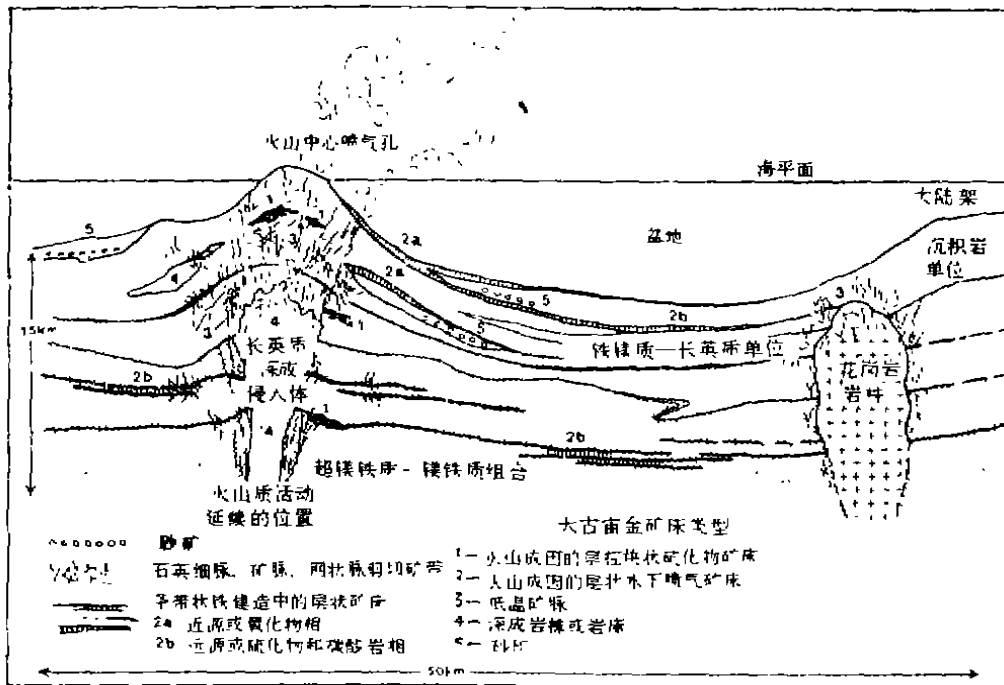


图3 早期岩浆作用模式图

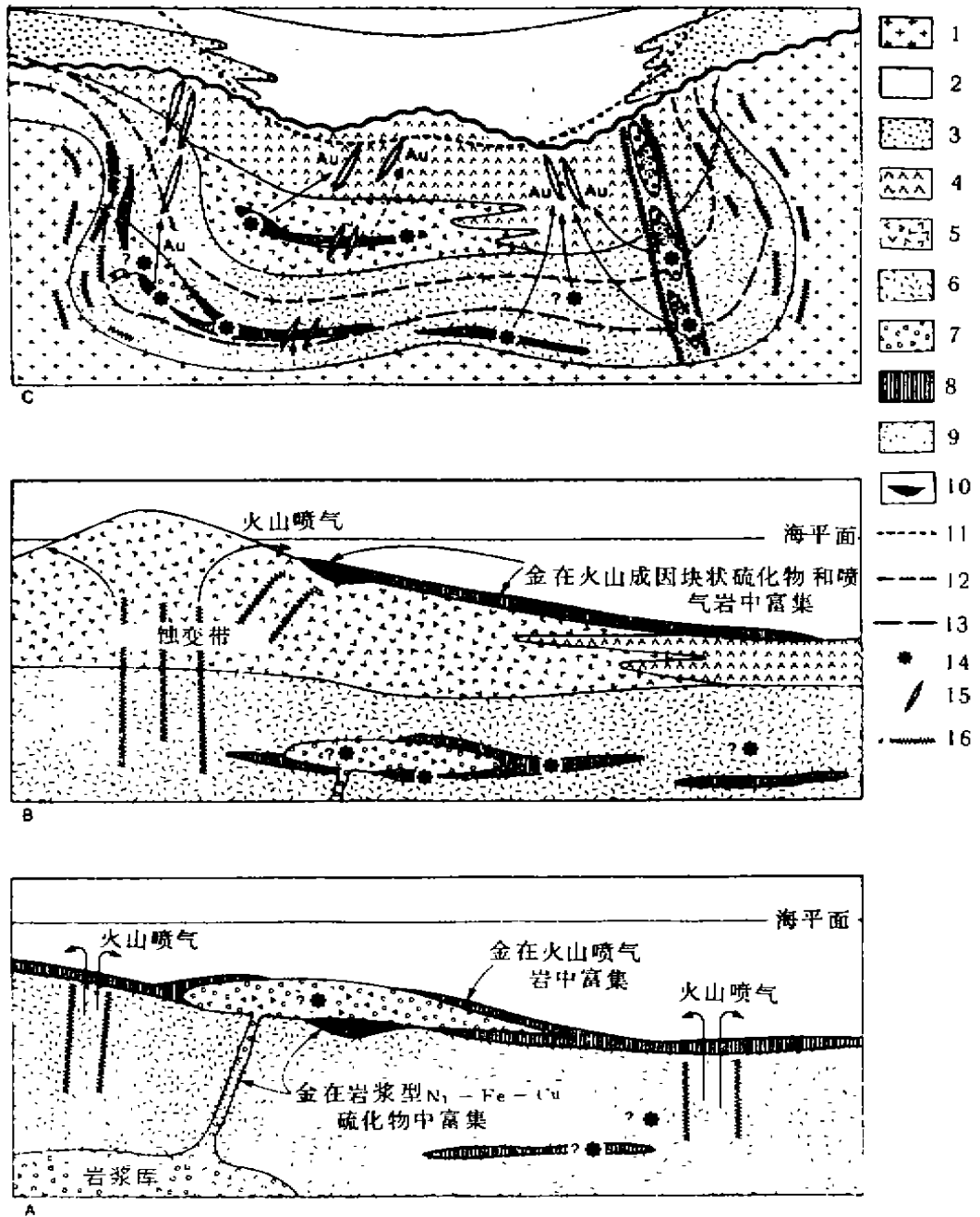


图1 金在绿岩层中富集的理论模式

1—花岗岩类；2—砂质和泥质变沉积岩；3—砂质变沉积岩；4—长英质火山岩和火山碎屑岩与安山岩和玄武岩互层；5—镁铁—长英质—变沉积岩组合；6—镁铁—超镁铁质岩组合；7—超镁铁质岩；8—喷气岩和火山碎屑变质沉积岩；9—浸染状Ni—Cu硫化物矿石；10—块状浸染状硫化物矿石（Ni—Cu和Zn—Cu）；11—绿片岩/亚绿片岩界线；12—角闪岩/绿片岩转变界线；13—中角闪岩/上角闪岩界线；14—潜在金矿源；15—不整合含金石英脉；16—剪切或破裂带

D.R派克和W.O.卡尔温等认为：加拿大提敏斯地区的金矿与超基性蚀变岩流有密切关系，继超基性岩流之后，伴随酸性岩的喷发和高层位的侵入（图3）。广泛的喷气活动使洋底上沿着岩石和水的界面上的各种岩石，特别是主要火山（喷气）口附近的各种岩石发生碳酸盐化，这时金和其它元素首先富集在这些岩石中，在后来发生的区域性绿片岩变质和变形作用期间，原先富集在碳酸盐岩层中的金等元素再活化，进入张裂隙中，或褶皱的鼻部，或斑岩的接触带和局部的不整合面，以含金石英脉的形式沉淀下来。

兰伯特和格罗威士研究了澳大利亚绿岩带的金矿认为：绿岩堆积物是矿化组分的源泉，金矿化与绿岩演化之间有着密切的关系，其富集成矿的理想模式是（图4）：

第一阶段是超镁铁质熔岩流的喷溢，随之含金及Ni—Cu—Fe硫化物岩浆的分离，并伴随着喷气作用、含金硫化物凝灰质岩石和喷气物的形成。

第二阶段在长英质火山中心，伴随喷气作用，形成火山成因的含金矿石和喷气堆积

第三阶段经区域变形变质作用和花岗岩类的侵位，金活化迁移至变质梯度低的剪切带沉淀富集，与金矿化伴生的围岩蚀变有硅化、碳酸盐化、绢云母化，矿脉为含金石英脉，常含少量碳酸盐和硫化物、磷化物。

3. 海水淋滤模式

前寒武纪超基性熔岩流及伴生沉积物形成过程中，金在成岩时或成岩后不久被穿过岩石的海水通过对流和广泛的蚀变而将围岩中的金淋滤出来，继而在水下热泉活动中以化学沉淀的方式重新沉淀，形成层状或层控型金矿。还可由于发生某种成矿作用叠加使金再活化，出现矿胚和不整合脉矿化常常紧密共生。

R·E·P·弗里普通过对津巴布韦金矿床的研究，认为许多金矿床与条带状含铁建造有密切的成因联系，成矿作用大体可分为两个阶段，反映了随着时间的演化，金迁移机制的变化和地温梯度的变化。

塞巴奎时期，津巴布韦地壳较薄，地温梯度变化较大，在海底和接近滨海或滨海环境下，100℃等温线可

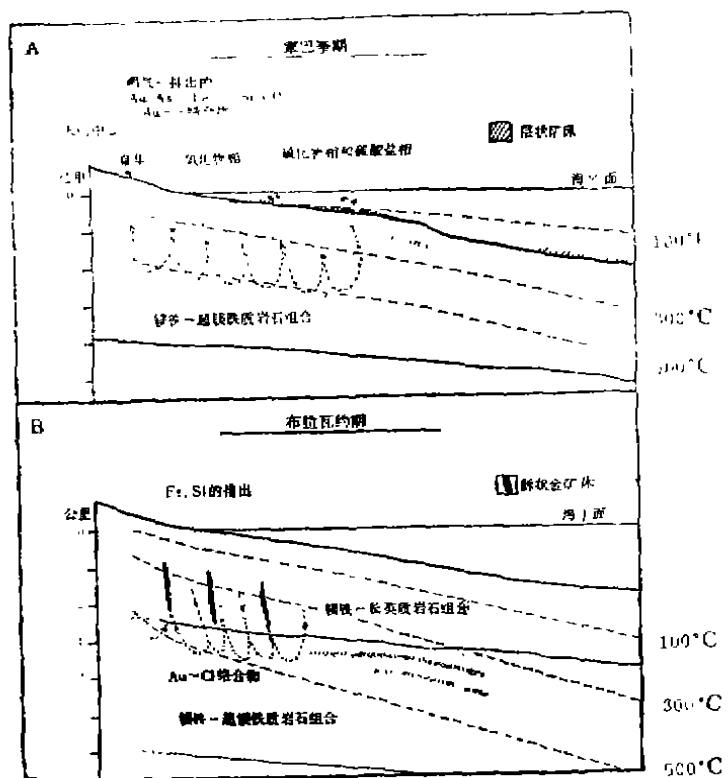


图5 太古代金矿床的演化模式，主要依靠卤水对流的概念

a 一在塞巴奎时代在条带状含铁建造和硅质铁质灰岩中形成的层状矿床；

一在布拉瓦约时代在具有较低的地热梯度下交错裂隙中的晚期脉状矿床

（部分根据亨利，1971）

能位于沉积物与水的分界面之上，或非常接近地表与大气的分界面（图5A），地下热卤水含有大量溶解的Au-S络合物和Au-As-S类络合物以及不同量的Fe、As、Si、S、Mn、Ti、Cu、Pb、Zn、Sb、Co、Ag和碳酸盐，它们与层状的含铁建造层沉积在海底。在较浅水（0—20m）的氧化环境，含铁建造有燧石、赤铁矿和磁铁矿层以及低品位的含金硫化物相伴生的碳酸盐层；在较深水（20—200m）地区，可发育有含金品位较高的碳酸盐以及铁和砷的硫化物；处在还原条件下的深水区（大于200m），由于金浓度将重新被稀释，故形成含硫化物和含碳酸盐的铁建造类型的低品位金矿床，在这阶段均以层状产出。

布拉瓦约或沙姆氏期间（或格卢克、无花果树、木戴斯时期），较厚的火山—沉积层使地温梯度降低，因而地表的热卤水的含量也降低，金可呈氯化物存在于溶液中，并可设想在300—400℃的温度下沉淀在盲裂隙系统中（图5B），形成晚期的脉状矿床。

4. 幔源CO₂气流模式

八十年代一些研究者认为晚太古代是地壳增长，趋于稳定的主要时期，也是麻粒岩形成的主要时期，同时还是金矿化的主要时期。沿下地壳剪切带向上运移的幔源CO₂，是使斜长角闪岩脱水形成麻粒岩的一种形式，游离的CO₂在较深的地壳内存在，有利于金及其相关的硫化物的溶解，以及在CO₂-H₂O流体中的金和相关硫化物沿剪切带迁移到地壳。

R·C纽屯研究了加拿大提敏斯地区的金矿，于1980年提出，来自地幔的玄武质熔浆上升至下地壳后，其中的CO₂和H₂O变得过饱和，CO₂沿剪切带从下地壳岩石中释放出来，使斜长角闪岩脱水形成麻粒岩。同时，伴随CO₂上涌（图6），形成部分重熔的碱性岩浆、云英闪长岩或闪长岩浆，麻粒岩也可在部分熔融过程中经脱水作用而形成，并引起亲石元素尤其是Rb、K、U、Th以及稀土元素在下地壳中强烈亏损，在麻粒岩化时，角闪石转变为辉石可释放出较多的水，成为热液的组成部分，含游离CO₂的热液，有利于金和硫化物的溶解，在CO₂-H₂O流体中的金和硫化物沿剪切

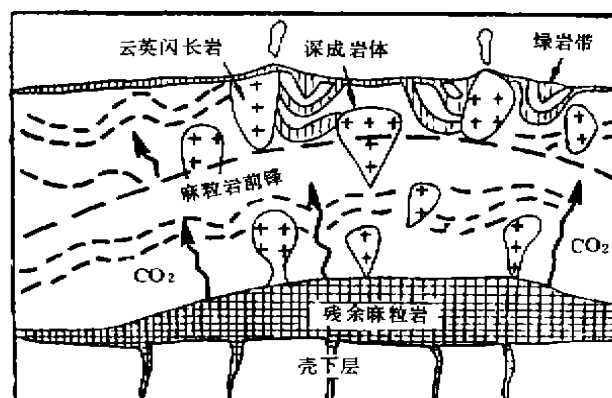


图6 幔源CO₂气流成矿作用略图

注：由于CO₂上涌导致麻粒岩前锋发育，残余麻粒岩以及侵入于包括绿岩带的上地壳中的云英闪长岩深成岩体

带运移，在绿岩带中发生了碳酸盐化、硅化和含金硫化物石英脉沉淀。

D·格罗威士等人根据碳同位素组成资料，认为成矿溶液沿着剪切带运移，是一种不断变化的流体流，而进入到角闪岩相—绿片岩相过渡带或带下的构造中的流体，可能是地幔和地壳的脱气作用所产生的变质溶液。这种溶液它既有别于来自绿岩带本身脱挥发分的变质热液，也有别于大气降水参与的成矿溶液，更不同于成矿溶液来自与金矿化

近于同时的长英质侵入岩的岩浆热液。

5. 煌斑岩浆作用模式

西澳大学一些学者们认为目前太古代绿岩带脉金矿床岩浆成矿模式和变质成矿模式都解决不了大量金的来源问题，作者统计未矿化的绿岩带岩石中含金量仅为0.5~2ppb，而煌斑岩中金含量算术平均值为

87 ppb。伊尔岗地块绿岩带内部岩体岩性变化较大，从角闪花岗岩—英云闪长岩—奥长花岗岩，并含有煌斑岩脉和长英岩脉，金矿化主要与这种岩体有关。他们提出了金由煌斑岩浆释放出来，并上升到上地壳成矿的新观点，编制了金与煌斑岩浆、

长英岩浆关系的模式示意图（图7）。图中A和B代表金矿化作用的两个端元（岩浆模式和变质模式）。实际上成矿过程是介于两者之间的过渡型式。从地核或下地幔上升的富K、Ba、Sr、Zr

等元素的流体与幔岩交代形成了富含这些亲石元素的交代地幔物质，并熔融成为煌斑岩浆。在含金的煌斑岩浆上升过程中，有两种不同的演化情况：一是（图7A）煌斑岩浆与壳岩反应生成花岗斑岩浆，即为金的岩浆成矿模式；二是（图7B）煌斑岩浆激发了变质水或大气降水的环流网络，于是金从煌斑岩中解脱出来，而发展成变质成矿模式。

等元素的流体与幔岩交代形成了富含这些亲石元素的交代地幔物质，并熔融成为煌斑岩浆。在含金的煌斑岩浆上升过程中，有两种不同的演化情况：一是（图7A）煌斑岩浆与壳岩反应生成花岗斑岩浆，即为金的岩浆成矿模式；二是（图7B）煌斑岩浆激发了变质水或大气降水的环流网络，于是金从煌斑岩中解脱出来，而发展成变质成矿模式。

富含这些亲石元素的交代地幔物质，并熔融成为煌斑岩浆。在含金的煌斑岩浆上升过程中，有两种不同的演化情况：一是（图7A）煌斑岩浆与壳岩反应生成花岗斑岩浆，即为金的岩浆成矿模式；二是（图7B）煌斑岩浆激发了变质水或大气降水的环流网络，于是金从煌斑岩中解脱出来，而发展成变质成矿模式。

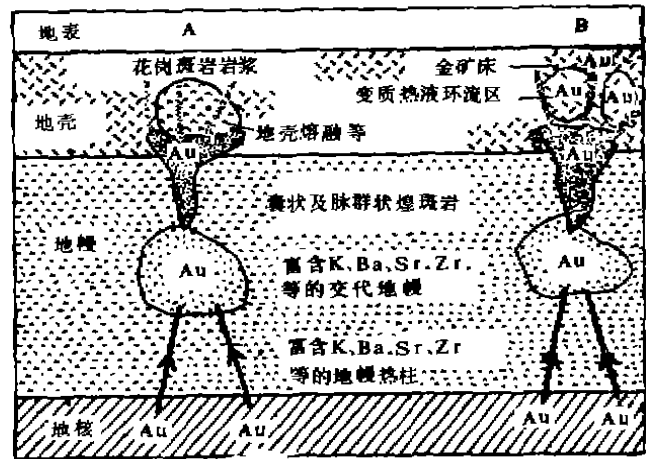


图7 金矿与煌斑岩浆、长英岩浆关系的模式示意图

二、浅成热液金矿成矿模式

1. 火山岩和沉积岩中的成矿模式

浅成热液矿床形成温度在200~300℃之间，成矿深度不超过1000米。是在地下水对流体系统中形成的。当对流体系统周围大量地下水循环到深部火山相岩层或沉积岩层时，水逐渐被加热和溶解围岩中的金属元素、碱性物质、氧化物和硫化物，最后沿着裂隙系统向上运移，在近地表处与氧化能力较强的地下水溶液混合，由于近地表压力较低，引起沸腾，大多数金属硫化物出现在热液沸腾线以下，而贵金属矿物却出现在沸腾线以上，以充填、渗透方式形成脉状及浸染状等矿体。这些概念广泛用于解释火成岩中的浅成热液金银矿床（图8）和沉积岩中浅成热液金矿床（图9）的成矿过程，并以矿化和蚀变分带为基础建立了相应的成矿模式。

V·F·霍里斯特从评价和勘探矿床的目的出发将成矿的古热泉系统划分为泉华、硅帽、富矿带、贱金属带、碎屑胶结矿石、胶代矿石六个部分。

泉华：它是热泉沉淀的富硅残余物，一般易被剥蚀掉。泉华中如果含金或银，则在其下的硅帽以下的某深处部位可能有开采价值的金矿或银矿。

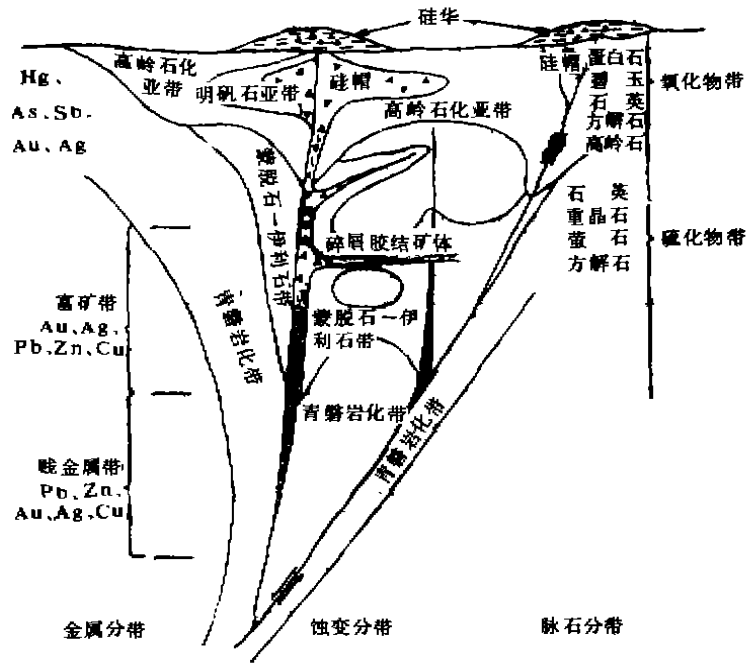


图8 火成岩中浅成热液金矿成矿找矿模式 (据 V. F. Hollister, 1985)

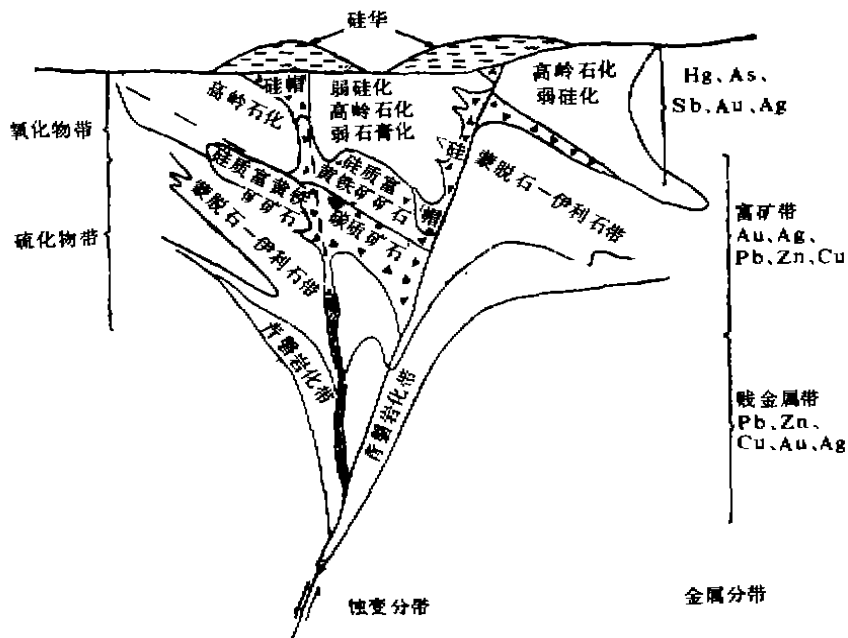


图9 沉积岩中浅成热液金矿成矿找矿模式 (据 V. F. Hollister)

硅帽: 泉华下部岩石经历强烈硅化和酸性淋滤地段, 通常称之为硅帽, 其中富含高

岭石、黄钾铁矾、萤石、重晶石、碳质、铁的氧化物等矿物。硅帽中若出现萤石、重晶石、绢云母则说明浅成热液系统具有良好的金银成矿远景，如果高岭石、贫硅、高砷的环境，则对金银成矿不利，贱金属含量与金、银成矿关系不明显。

富矿带：发育于硅帽下的热液通道附近，常见有角砾状和网脉状矿石，形成于潜水面下的硫化物带内，脉石矿物为乳白色石英和透明玻璃状石英，含金火山岩中的硅帽以具有Hg-As-Sb异常为特征，而富矿带则以Au-Ag异常为特征。

贱金属带：在富矿带以下，Au、Ag含量降低逐渐过渡到以贱金属为主，贱金属带上部Pb·Zn比值较高，而Zn与Pb值则随深度的增加而增加，大多数贱金属带往下逐渐转为含绿泥石和氧化铁的石英脉。

碎屑胶结矿石：大多形成于古潜水面以下，当热液流体进入到有利的渗透性岩层内，带入大量的二氧化硅、碳酸盐、硫化物在岩层中，有碎屑颗粒沉积。贵金属含量高者可以成为矿体。

交代矿石，主要分布于卡林型矿床内，由热液流体进入到不纯碳酸盐岩层内，并发生交代作用所致。富矿带有富硅质黄铁矿矿石或富碳质矿石两种，两类矿石形成时间不同。

2. 热液浅循环沸腾氧化模式

L. J. 布坎南总结了美国西部的浅成热液矿床，提出了浅循环沸腾氧化模式，通过图表形象地表达了沿近于垂直的断裂系统产生的蚀变带和矿化带的空间几何排列（图10），由地表至500 m深处，沿构造带垂直分布，最上部为热泉氧化硅顶盖，其下为粘土—明矾石化带，往下顺断裂带两侧依次是粘土—绢英岩化带，最外为青盘岩化带，成矿中心约在350 m深处附近的沸腾面之上，贵金属通常出现在沸腾面之上部，贱金属多分布于沸腾面之下部。

L. J. 布坎南认为，浅成热液矿石矿物沉淀及其伴随的围岩蚀变是上升热液在运移过程中发生沸腾和氧化的结果，当含矿热液沿构造通道上升至

古潜水面附近时，由于压力降低引起沸腾，矿石沉淀而封闭裂隙通道，使热液循环变为封闭系统，随着热液上升，内部压力不断增加，再次突破由于矿石沉淀所封闭的通道，

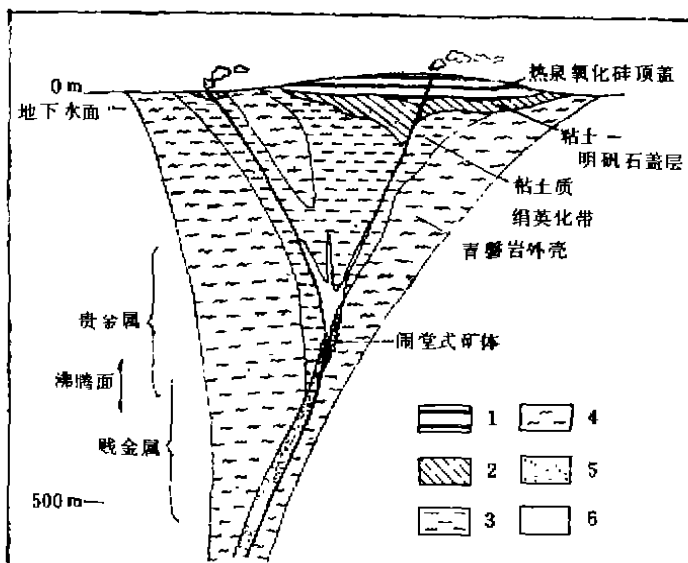


图10 热液浅循环沸腾氧化模式图

- 1—硅质沉积和残余物；2—明矾石，粘土；3—粘土（伊利石，深部为粘土）；4—绿泥石，伊利石、蒙脱石，碳酸盐；5—氧化硅，冰长石、钠长石；
- 6—矿石，氧化硅，通常为条带状或角砾状

形成周期性的破裂和角砾岩化, 由此反复形成压力降低引起沸腾, 造成多阶段的矿石沉淀, 并形成层状或对称条带状矿石构造, 沸腾面的位置取决于成矿体系的温度、含盐度和静水压力, 沸腾引起脱气作用, 挥发组分的散失和溶液pH值的增高。据计算, 当热液中有4%的水蒸气逸出后, 就可使热液变为中性到略偏碱性, 因而使金沉淀, 当热液中散失20%的水蒸气后, 使溶液碱性增强, 使银矿物与冰长石、少量绢云母和大量氧化硅一起沉淀。在热液演化的晚期阶段, 沸腾带的顶部蒸气快速逸失, 温度急剧降低, 热液变成氧化的酸性流体, 造成强氧化的酸性环境, 金的各种络合物, 含金氯化物、硫化物和硫化化合物发生分解, 并造成金银的沉淀富集。在地表环境中, 地表水可能会稀释强酸性的含矿溶液, 广泛发育绢云母化或粘土化蚀变, 这就是所谓的低pH值或酸性盖层(或称酸帽), 这是很多浅成热液矿床的特征, 这种粘土蚀变带通常含Au、As、Pb, 有时含Hg、Sb、W、Mo、B, 有些带还含明矾石, 虽然矿石不够品位, 但绢云母—粘土带宽窄通常与相应的矿体成比例, 即蚀变带愈大, 矿化带也愈大。

3. 热泉型金矿模式

D. E. 怀特认为: 许多重要的金、银矿床均可在地热活动区产出, 地热系统中的热液沉积或沿着某种构造部位向地表排放地热流体均可能形成具有经济意义的金银矿床。

D. E. 怀特等研究美国内华达州朗德金矿床、萨尔弗金矿床、迪维德区哈斯布罗克山矿床、加利福尼亚州麦克劳林矿床, 建立了热泉型金、银矿床成矿模式。

其顶部为硅质泉华, 相当于布坎南模式的氧化硅盖层, 硅质泉华在地表呈多孔状, 在深部则被压实和胶结, 它由蛋白石质氧化硅、玉髓和方英石组成, 泉华中含Au、Ag、As和Sb。地下水面的位置标志着热水与以蒸气为主的流体之间的界线。在这个界线之上, H_2S 氧化成 H_2SO_4 , 并浓缩成含水的硫酸, 下降的回流溶液引起酸性淋滤, 成为酸性淋滤带, 出现矿物有高岭石、明矾石、氧化硅、黄钾铁矾, 常称之为硅帽, 其下部为含金属的热液角砾岩和含金属的石英—硫化物脉的矿化带。

4. 热液对流环交代模式

C. G. 坎宁安研究美国犹他州马丽斯维尔附近地区的矿床, 提出热液对流环的成矿模式(图11), 他认为马丽斯维尔矿区, 矿体的形成与二长岩岩株有关, 它作为一个中心侵入体, 周围是热液对流环, 形成分带的蚀变区。每个蚀变带中的垂向和某些侧向矿物分带与流体在地表附近的沸腾和地下水面上的氧化有关。

围绕二长岩株分布的一些对流环, 彼此相隔3~4 km, 它们形成一系列的环形蚀变区, 具有垂向和侧向分带, 环形蚀变区的中心为硅质明矾石核, 周围是高岭土化岩石, 再往外是面型的含黄铁矿青盘岩化带。在垂向分布上形成“分层的”或“叠置的”层序, 底部是明矾石交代带, 向上依次是氧化硅—黄钾铁矾带, 氧化硅—赤铁矿带, 最上部是氧化硅层, 这种类型的蚀变通常发生在不到50 m深的地下水面上, 最大深度不超过100 m, 这种蚀变显然是在地下水面上进行的, 因为上升的热液至地下水面附近变为湿蒸气, 使蒸气的密度增大, H_2S 变成含水硫酸回到循环系统中出现酸性—硫酸盐蚀变带, 明矾石化则位于这种蚀变带的深部, 这套蚀变组合常形成退色的铁染的抗风化的露头, 这些露头含少量的自然硫和辰砂, 反映了富硫热液活动的存在, 说明了在附近或深部, 有贵金属矿床存在的可能。

5. 科迪勒拉地区综合浅成热液模式

流)。浅成热液矿床是在较高的构造部位形成的，距侵入体有一定距离，其温度低于285℃，大致在高岭石的热稳定界限内。

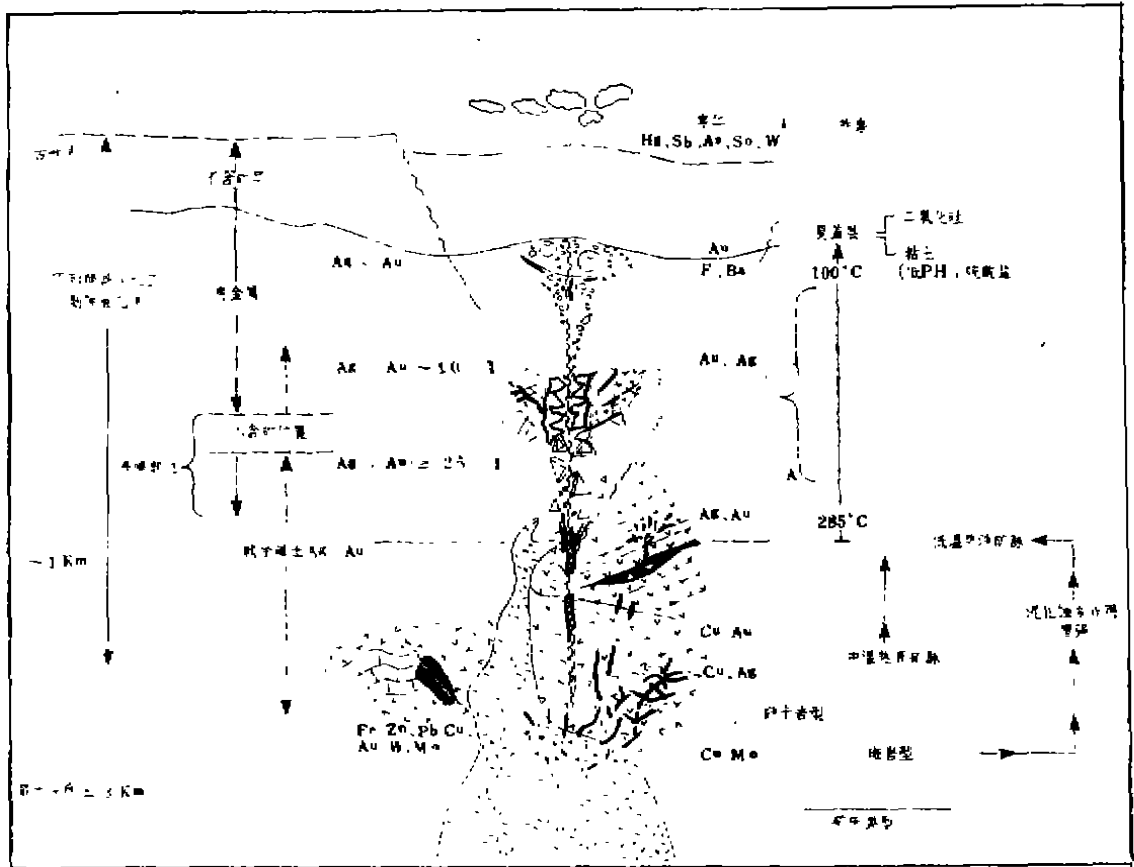


图12 综合浅成热液成矿模式图

6. 沉积岩中的低温热液模式

卡林型金矿床是在第三纪晚期火山作用下，形成的低温浸染交代型矿床，其形成模式如图13所示，含矿热液主要来自于岩浆活动而加热了的大气水、地下水，热液通过陡倾断层上升到具有渗透性的薄层碳酸盐类岩石，溶解了碳酸盐类矿物（主要为方解石），携带了与金紧密伴生的Ag、As、Sb、Tl、Zn、Cu等成矿元素和Al、K、Ba、有机质等组分，热液循环至有利的构造部位，沉淀了石英、黄铁矿和微细金，热液中的金属组分是从下部岩层中淋滤出来，随热液运移而带到上部，当上升到近潜水面附近时，迁到含氧的地表水时，热液开始沸腾，并释放出水蒸气、CO₂、H₂S等，H₂S很容易被大气中的氧而氧化成H₂SO₄，含H₂SO₄的水溶液进一步使矿床上部的岩石和矿石遭受强烈的酸淋滤和氧化，在近地表带内，碳酸盐矿物被带走，硫化物和有机化合物被氧化，同时形成高岭石、硬石膏、氧化硅等，晚期重晶石和方解石可重新沉淀。

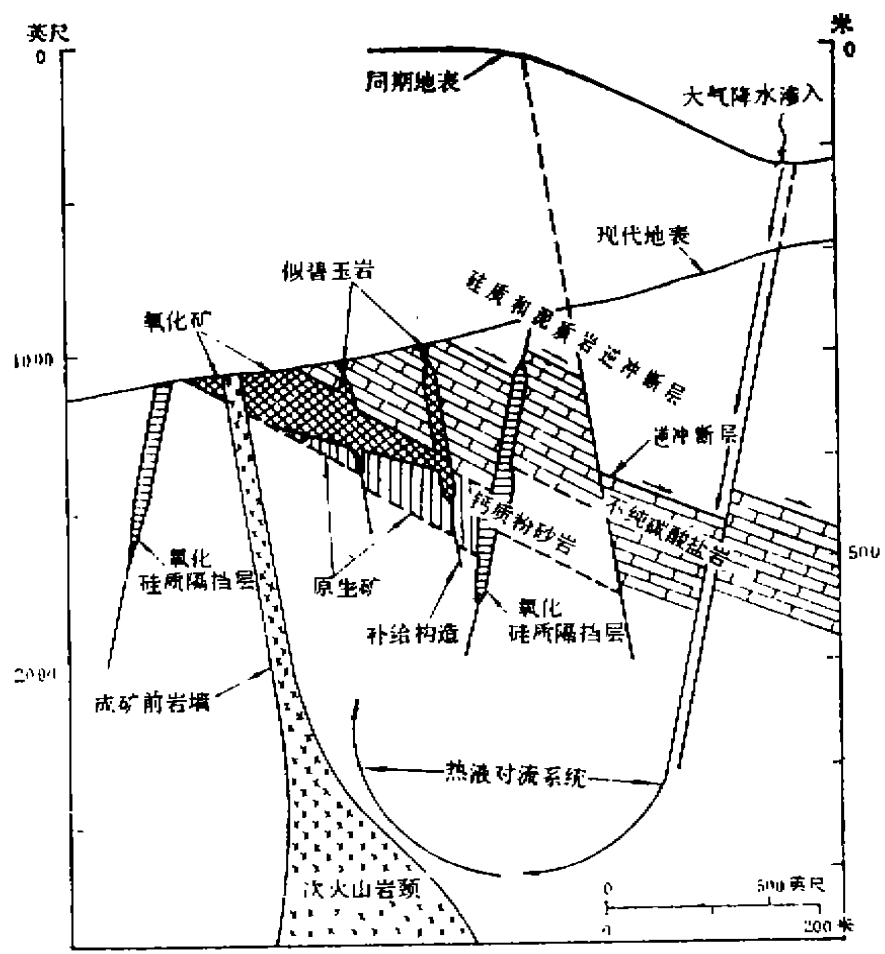


图13 卡林金矿床成矿模式理想剖面图

参 考 文 献 (略)