

国外金矿地质译文专辑

TRANSLATION OF OVERSEAS GOLD GEOLOGY

03
(3-1)
683



西南冶金地质勘查局科研所

序

黄金作为硬通货历来在一个国家的国民经济中起着十分重要的作用。

当前，世界地质找矿业在研究探索寻找超大型金矿床，建立矿床成因模式，应用成因模式指导找矿方面见到了明显效果。仅八十年代以来就发现了大于100吨金属储量的超大型金矿8处，从而使这些所在国家的黄金生产有了长足的发展。

我国已探明有少数储量大于50吨的特大型金矿，即新城、焦家、三山岛、玲珑、金厂峪、团结沟金矿，仅此六个矿床其总储量就占我国现有岩金储量的三分之一。但我国尚未发现储量大于100吨的金矿，这使我国黄金生产规模受到了一定的限制。

目前世界范围内的金矿找矿正向着多种类型的方向发展。许多新问题摆在我们面前：新的矿床类型有待于发现；许多老的采金地，已知矿床面临重新评价及深部找矿的局面。过去认为“无经济意义”的“表外矿石”，甚至是含金量极低的岩石，在一定的开采、选冶条件下将成为能赢利的探采对象。

在这种形势下，学习国外的找矿勘探经验，借鉴这些经验无疑是非常必要的。专辑正是以此为目的，收集了1989—1990年以来，国外英、日地质刊物上发表的有关金矿最新研究成果的文章，共25篇。其内容主要是浅成低温热液型，深成中温热液型，以及剪切带，不整合有关的金矿床，绿岩带和砂金矿床中的成矿理论、矿床地质，地球化学和矿物学。其中有较多文章对目前找金最为有望的矿床类型之一——浅成低温热液型金矿作了详细研究。我们期望能对金矿地质工作者起到参考作用。

薛友智

1990.12.10

专 辑 目 录

一、成矿理论

- 1、一种布罗德兰兹型浅成成矿流体的P—T演化途径：对贱金属、贵金属和挥发性金属搬运和沉淀的指示意义…… Nicolas F. Sphyer等 (1)
- 2、沉积岩中的金矿床：岩浆—热液体系的远源产物…… Richard H. Sillitoe和Harold F. Bonham Jr (12)
- 3、晚新生代大陆裂谷作用期间自前寒武纪火山成因硫化物源再活化形成的浅成低温热液金矿床…… Michael S. Fulp和Lee A. Woodward (17)
- 4、魁北克罗比奥矿区中层状各向异性对含金剪切带的影响…… (22)
- 5、层状金矿化…… M. M. 康斯坦丁诺夫 (28)

二、矿床地质

- 1、印度太古代科拉尔片岩带金矿地质背景、矿物学、地球化学及矿床成因…… N. S. Siddaiah和V. Rajamani (35)
- 2、法国中部Le Bourneix 金矿床的热液作用和成矿流体…… JEAN—CLAUDE TOURAY等 (48)
- 3、法国中央地块Saint Yrieix地区含金剪切带之构造控矿：以Le Bourneix 和Laurieras金矿床为例…… V. Bouchot等 (62)
- 4、英国多洛科奇产于浊积岩中的金矿化特征…… A. E. 安尼尔斯和D. E. 罗伯茨 (75)
- 5、佐治亚州达洛尼加和卡罗尔金矿带中金矿床地质背景及成因…… J. M. German (79)
- 6、日本九州岩户金矿床岩下矿体的热液角砾岩筒和金成矿作用…… Eiji Izawa和Charles G. Cunningham (89)
- 7、内华达Relief Canyon矿化角砾岩型金矿床…… A. R. Wallace (98)
- 8、中国新近发现的产于沉积岩中的浸染型金矿床…… CHARLES G. CUNNINGHAM (107)

三、地球化学

- 1、朝鲜共和国永同矿区金—银矿床的地球化学研究…… Chil—Sub So等 (113)
- 2、加拿大安大略省东南部格林威尔地区两个与不整合有关产于福林顿群基底的金矿床地球化学特征及矿床成因…… 路克·哈罗依和约翰·摩里 (118)
- 3、意大利阿尔卑斯西北部上安扎斯卡谷金矿床流体包裹体研究…… Pier Franco Lallanzi等 (125)

- 4、奥卡纳根河谷深成中温热液型金矿化的流体包裹体和稳定同位素研究…………… X.ZHANG等 (133)
- 5、哈萨克北部加里东造山带侵入成因金—碲化物矿床的地球化学特征及其形成条件…………… F.M.Spridonor和V.Yu Prokofyeva (141)
- 6、金吸附过程中的极化作用…………… V.I.Fedoseyeva (149)

四、矿物学

- 1、法国Marche—Combrailles剪切带Villeranges盆地中含毒砂的结晶条件：矿物学和液态包体的研究…………… M.C.Boiron等 (153)
- 2、与热液型金银矿石伴生的绿泥石—蒙脱石混合层矿物的化学成分…………… 米田哲朗 (167)
- 3、球形金的形成是人造的还是次生的…………… R.N.W.迪拉毕尔等 (174)

五、方法与技术

- 1、一种新的金矿靶区选择计算机辅助方法：以Abilibi绿岩带研究为例…………… C.Jay Hobgson和D.G.Troop (177)
- 2、用高分辨率显微镜研究内华达卡林矿山未氧化矿石中的金…………… B.M.贝肯等 (191)
- 3、以离子交换或碲共沉淀分离，用石墨炉原子吸收光谱法测定地质样品或有关物料中痕量和超痕量的贵金属…………… J.G.Sen Gupta (198)

一种布罗德兰兹型浅成成矿流体的P-T演化金

途径:对贱金属、贵金属和挥发性 金属搬运和沉淀的指示意义

Nicolas F. Spycher等

引 言

浅成热液贵金属矿床常含有较丰富的As、Sb、Hg,它们分别呈辉锑矿、雌黄、雄黄和辰砂等形式产出。许多以金为主的矿床富含挥发性金属,贫贱金属,它们与活动地热体系的浅部特征相似;而以银为主的矿床含有贱金属硫化物,硫盐和银金矿,其与活动地热体系的深部特征相似。热液沸腾可以促使贱金属硫化物和贵金属在深部沉淀,而浅部的金可以由含金沸腾水与酸性硫酸盐水的混合而沉淀。然而,热液中As、Sb、Hg的迁移、沉淀机理以及硫盐、硫砷铜矿、雌黄、辉锑矿的沉淀机理尚不明确。银金矿常伴有硫盐及硫化物,而纯的自然金则没有,使人们怀疑物理化学条件控制着银金矿的组成。为解决这些问题,本文以一种布罗德兰兹型地热水为例,凭借计算机,利用多组分不均匀化学平衡来模拟这些作用,并以三部分展开:沸腾、挥发性金属的搬运和沉淀,沸腾的含金属水与酸性水之间的反应。各种沸腾和酸化的计算流程示于图1中。这种布罗德兰兹型水的化学组成列于表1中,其在300°C时与绿泥石、黄铜矿和蔷薇辉石之间达到平衡,当然,这些模拟均是对自然过程的简化,但它们描述了一般地热体系中矿石沉淀的重要化学过程。应当注意的是,它们并非热液体系中矿石沉淀的唯一机理,其它机理诸如,与其它流体的混合,地表水的稀释、以及与围岩之间的反应,也是重要的。

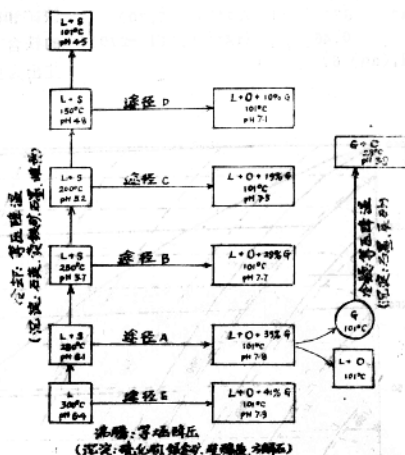


图1 本文模拟的一些沸腾和冷凝作用流程。L、S、G、O、C分别代表液相、固相、气相、矿石、冷凝物。

拟这些作用,并以三部分展开:沸腾、挥发性金属的搬运和沉淀,沸腾的含金属水与酸性水之间的反应。各种沸腾和酸化的计算流程示于图1中。这种布罗德兰兹型水的化学组成列于表1中,其在300°C时与绿泥石、黄铜矿和蔷薇辉石之间达到平衡,当然,这些模拟均是对自然过程的简化,但它们描述了一般地热体系中矿石沉淀的重要化学过程。应当注意的是,它们并非热液体系中矿石沉淀的唯一机理,其它机理诸如,与其它流体的混合,地表水的稀释、以及与围岩之间的反应,也是重要的。

表1 沸腾模式所用深部布罗德兰兹型水的组成。

ppm	ppb
Cl ⁻ 1,073	Fe ²⁺ 221
HCO ₃ ⁻ 10,761	Mn ²⁺ 0.15
HS ⁻ 187	Zn 1.0
SiO ₂ 494	Cu ²⁺ 6.64(9.0)
Al ³⁺ 0.06	Pb ²⁺ 2.3
Ca ²⁺ 1.4	Ag ⁺ 8.0
Mg ²⁺ 0.006	Au ⁺ 1.5
K ⁺ 143	Sb ³⁺ 200
Na ⁺ 671	As ³⁺ 5,700
F ⁻ 0.46	Hg ²⁺ 0.8(1-270)
CH ₄ (aq) 67	

沸 腾 模 式

本文利用一系列P-T-熔演化途径进行沸腾计算,以确定沸腾程度,后者可用气体的重量百分比来表示,所以,各种沸腾途径可以由T-气体量百分比图解(图2)表示出来。

280℃时的等焓沸腾及直接冷却

该途径与布罗德兰兹地热水所经历的途径相似,其由280℃、80%的均一溶液相在地表101℃、1.05b时沸腾,产生36%的气相。它的结果示于图3A-J中。其中,黄铁矿和硅酸盐因温度降低而沉淀。绿泥石中的铁含量随温度下降而升高,直至黄铁矿沉淀出为止。当Fe进入黄铁矿时,温度进一步

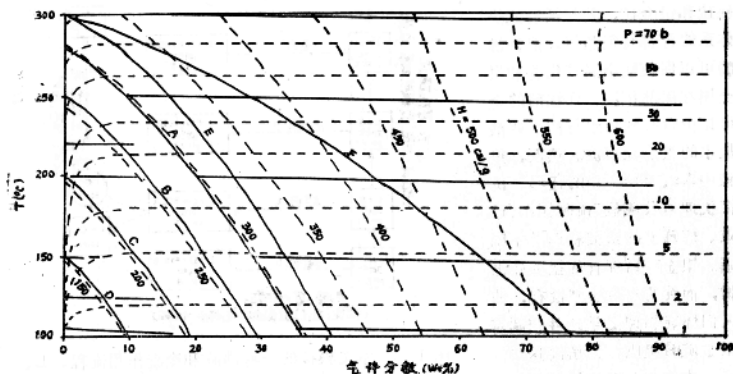
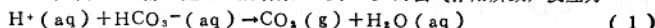


图2 布罗德兰兹型水的温度—沸腾程度图。实线代表沸腾途径,倾斜的破折线为等焓线,近水平的破折线为等压线,气体分数(%)为气相总质量与体系总质量之比值。

下降,使绿泥石中Fe降低,最终沉淀出纯净的斜绿泥石(图3J)。其它硫化物的沉淀(图3A、B)是由PH增加引起的,后者系CO₂、H₂S的去气作用所致,反应为



其中H₂S的沸腾和还原性气体的氧化使溶液SO₄²⁻含量增加(图3F)。这种去气作用

在沸腾早期十分重要，在260°C以下，气体组成变化不大（图3C）。在低盐度富硫水中，贱金属呈硫络合物搬运（图3G），其按下式，由PH和去气作用驱使而沉淀：

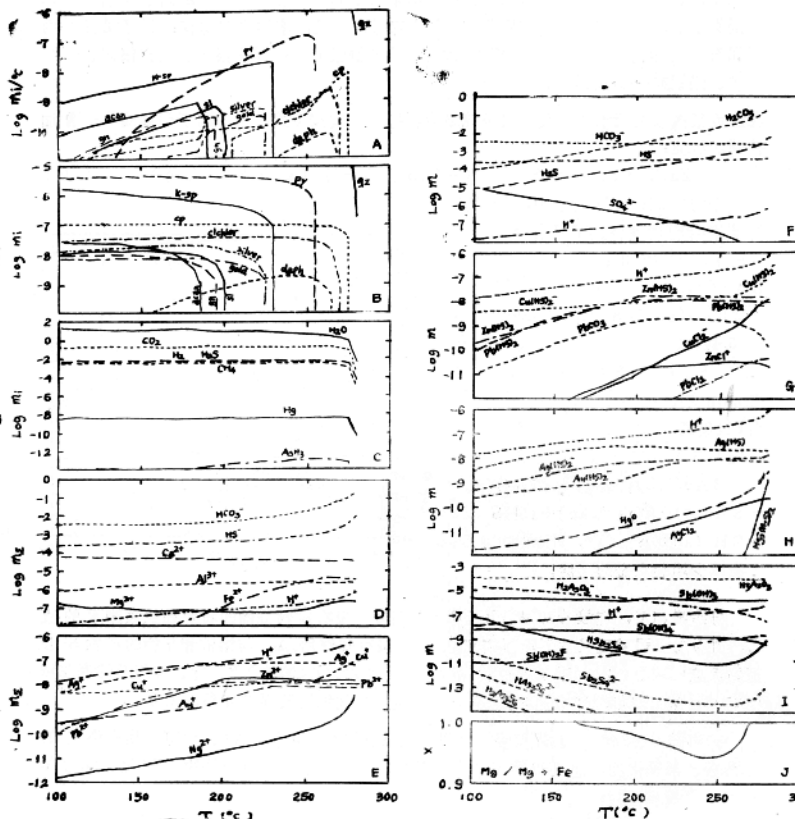
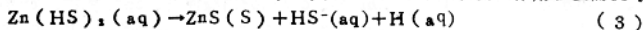
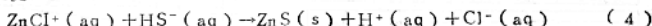


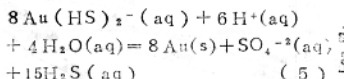
图3 布罗德茨型水自280°C的等焓沸腾（途径A），A、有矿物分馏的沸腾。B—J、无矿物分馏的沸腾：B、矿物，C、气相，D、溶解组分，E、金属离子，F、酸性组分，G、贱金属组分，H、贵金属和Hg组分，I、As、Sb组分，J、绿泥石中Mg

的摩尔分数, 此处及后文图中所用的矿物缩写为: acan 螺硫银矿、bn 斑铜矿、bour 车轮矿、calc 方解石、cc 辉铜矿、cinn 辰砂、clchlo 斜绿泥石、cp 黄铜矿、cv 铜蓝、daph 磷绿泥石、enar 硫砷铜矿、gn 方铅矿、graph 石墨、hem 赤铁矿、K-Sp 微斜长石、mt 磁铁矿、musc 白云母、orp 雌黄、pear 硫砷铜银矿、polyb 硫铋铜银矿、proust 淡红银矿、py 黄铁矿、pyrar 深红银矿、qz 石英、realg 雄黄、rhodn 蔷薇辉石、tenn 砷黝铜矿、tetra 黝铜矿、sl 闪锌矿、Stib 辉锑矿。呈固溶体的矿物有: 斜绿泥石—磷绿泥石、自然金 (Au)—自然银 (Ag)、硫砷铜银矿—硫铋铜银矿、淡红银矿、深红银矿、黝铜矿—砷黝铜矿。

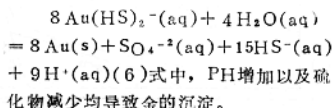
在盐度很高或贫硫水中, 贱金属呈氯络合物搬运, 其按下式, 由沸腾所引起的 PH 增加控制而沉淀:



金的沉淀: 在这种水中, Au 和 Ag 的硫络合物浓度超过了氯络合物 (图 3H), 可以写出:



其中, H_2S 沸腾导致金的沉淀, 而 PH 值增加使 Au 在溶液中更为稳定。当 PH 很高, 所有 H_2S 均已离解, 反应 (5) 可写为:



与沸腾相反, 直接冷却导致 PH 降低, 因为高温弱酸随温度下降而离解。正如反应 (3)、(4) 的逆反应所示, 黄铜矿、闪锌矿和方铅矿未能沉淀 (图 4)

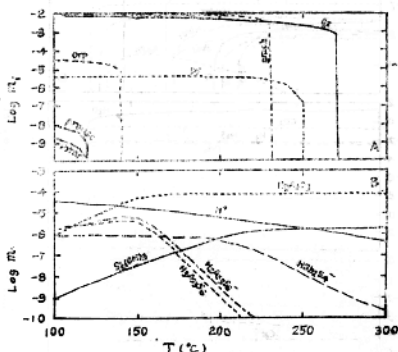
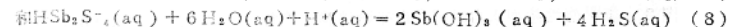
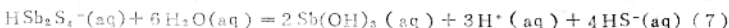


图 4 没有矿物分馏的布罗德兰兹型水的直接冷却作用。A、与溶液相平衡的矿物半度 (摩尔/Kg 溶液) B、砷、锑组分的摩尔浓度。矿物缩写及固溶体参见图 3。

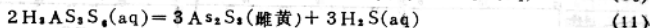
砷和锑: 冷却时, 雌黄和雄黄出现于低温条件 (图 4)。As、Sb 可以形成稳定的含氧酸、氢氧化物, 也可以形成硫盐 (图 3I、图 4B)。主要的砷的氢氧化物和硫盐之间的平衡反应为:



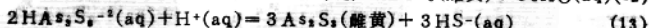
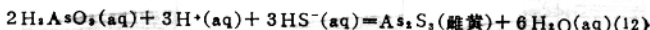
其中, PH 的作用完全相反, As、Sb 的硫盐主要富集于中等 PH 值条件, 明显地, 硫化物浓度的增加有助于硫盐络合物的形成。所以, 在低温、高硫和中等 PH 条件下, As、Sb 以硫

盐络合物为主。

沸腾时，雌黄和辉锑矿的溶解度与温度明显相关，但硫浓度和PH值对矿物的沉淀也起着重要作用。当 $PH < PK(H_2S)$ 时，雌黄的溶解度可以写为：

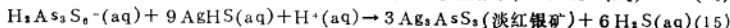
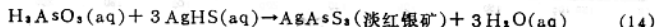


当 $PH > PK(H_2S)$ 时：



除反应(9)、(11)外，其余反应中酸化均促使雌黄沉淀。沸腾时，按反应(12)，不管温度如何降低，PH增加和硫化物的去气均抑制着雌黄的沉淀，而在直接冷却时，温度降低和硫化物含量增加均使雌黄按反应(9)沉淀，PH降低以及冷却作用，也使雌黄按反应(10)沉淀。

硫酸盐的溶解度也强烈依赖于温度。冷却时，淡红银矿和深红银矿因温度下降，PH减小而沉淀，反应如下：



它们不是由280°C的等焓沸腾所引起的，因为后者较高的PH和较低的硫化物含量导致沉淀的是螺硫银矿，而不是这些硫酸盐。

其它沸腾途径

由于与围岩之间的热传递控制着沸腾量，沸腾量影响着PH值，而PH往往影响着矿

物的沉淀，所以，热传递控制着体系中沉淀的矿物序列。

为了了解自然界的这种作用，尚模拟了起始温度不同的沸腾：300°C(途径E)、250°C(B)、200°C(C)、150°C(D)的等焓沸腾，300°C—100°C间的等温沸腾和过焓沸腾(F)，从而构筑出温度—气体分数(%)相图(图5)。对于给定温度，矿石矿物的稳定场是由 CO_2 和 H_2S 去气引起的PH和硫活度变化的产物。由其可以确定给定沸腾途径中矿物的沉淀出序。

硫化物矿物的沉淀量以及

沉淀序次示于图6中。由可见，低温硫酸盐沉淀较晚，且在较低PH值条件下交代早成矿

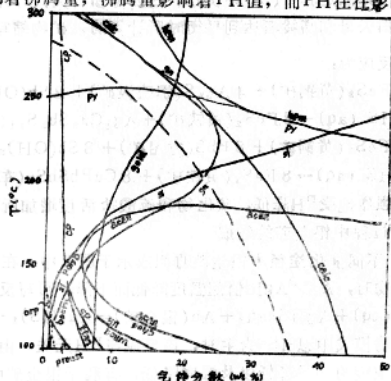


图5 布罗德兰兹型水封闭体系的矿石矿物相图，

破折线示途径A，矿物缩写和固溶体参见图3

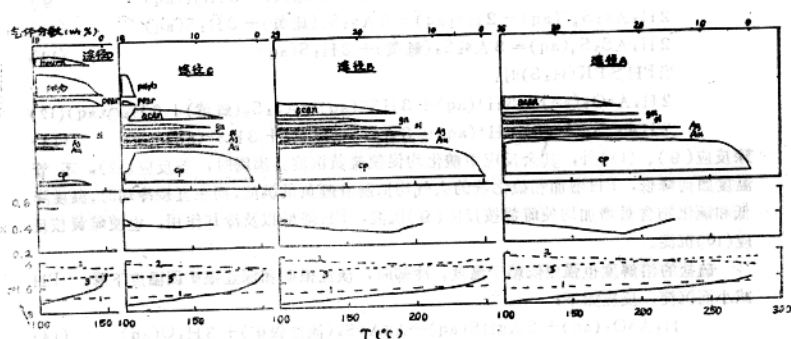
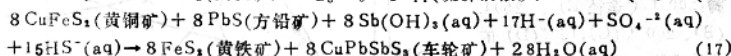
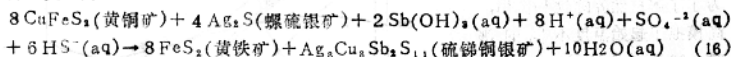


图6 在等焓和无矿物分馏时, 布罗德兹兹型水自280°C(途径A)、250°C(B)、200°C(C)、150°C(D)沸腾时所获矿石矿物集合体的对比。中间的图表示银金矿中Au的摩尔分数。在PH图中, 实线为沸腾计算所获, 虚线为PH缓冲值, 是由沸腾计算的 K^+ 活度, 并假定其与(1)钾长石、白云母和石英;(2)钾长石、白云母和非晶质二氧化硅;(3)白云母和高岭石达到平衡时所计算的。矿物缩写及固溶体参见图3

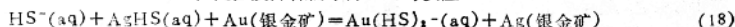
物, 反应为:



它们强烈地受PH降低, 硫化物和硫酸盐活度增加所驱使。

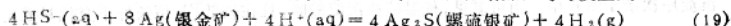
沸腾过程中银金矿的组成

不同演化途径中银金矿的组成示于图6中。在途径A、B的高温期间, 未出现含银硫化物时, Au/Ag 比值随温度降低而下降。可写反应:



当沸腾模式中以 HS^- 为主时, 该反应与PH无关。由该反应平衡常数与温度的关系知悉, HS^- 浓度为轻微降低以及温度降低, 有利于银金矿中金活度的增加, 但因温度对银金矿固溶体中 Au 、 Ag 活度的影响, Au/Ag 比值会因冷却而下降。

当量变更低时, 随含银硫化物的沉淀, Au/Ag 比值增加。可写反应式:



温度的降低及 H_2 的强烈去气驱使此反应朝右移动，它们的作用大大超过了pH和硫化物浓度的影响。所以，温度降低对于银金矿成色的增加有着间接的作用，因为低温时硫盐与硫化物均同银金矿“争夺”Ag。

挥发性金属的搬运和沉淀

据报道，Geysers 地热田等地的气体冷凝物中含有Hg、As、Sb。Krauskopf (1951)等认为Hg可能是自气相中沉淀的，我们对Hobart Butte 毛发状裂隙中雄黄、雌黄和辉锑矿的研究也说明As、Sb可以从气相中沉淀出来。

1、Hg、As、Sb的液—气分布

在整个沸腾区(图3C)，Hg均呈气态。而气相中As、Sb的浓度很低，含量最高的气相As组分— AsH_3 的浓度太低，不具有地质意义，Sb的浓度则更低。模式中所涉及的Hg、As、Sb气相组分的逸度计算结果表明，除气态Hg以外，所有这些组分的逸度太低，难以解释它们的气相搬运。

2、气相的冷凝和辰砂的沉淀

在压力恒为1b时，将 $101^\circ C$ A沸腾模式中提取的含Hg气相数字化冷凝的结果(图7)说明， $100^\circ C$ 以下， H_2O 多已冷凝，而 CO_2 、 H_2S 基本保持稳定，少量 CO_2 、 H_2S 溶解于水溶液中，冷凝后的主要气体为 CO_2 。冷凝导致石墨于 $80^\circ C$ 时沉淀。辰砂的沉淀也始于 $80^\circ C$ ，反应为：

$$H_2S(g) + Hg(g) \rightarrow HgS \text{ (辰砂)} + H_2(g)$$

该反应主要受温度控制。冷凝时，有少许Hg溶解于冷凝物中呈中性。当温度降低，冷凝物中S增多时，则以Hg的硫化物络合物为主(图7B)。当原始Hg含量较本模型水高出10、100、1000倍时，类似的冷凝计算表明，辰砂于 $100^\circ - 85^\circ C$ 之间沉淀。

3、 $900^\circ - 100^\circ C$ 之间干燥气相中金属的搬运

沸腾时，只要有液相存在，As、Sb就不会大量分馏入气相之中。由在1b、 $900^\circ - 100^\circ C$ 条件下，完全沸腾的计算结果(图8)看，当溶液100%沸腾时，Sb存在于气相中，直至 $220^\circ C$ ，辉锑矿升化

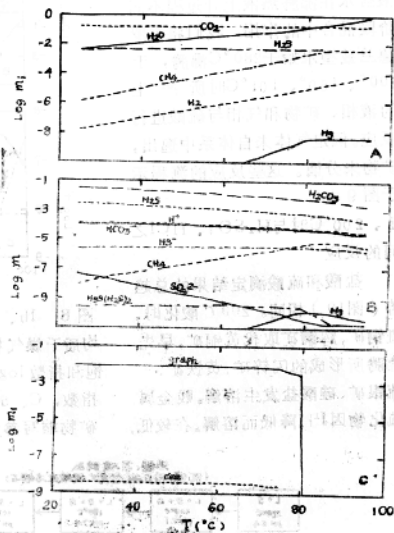


图7 $101^\circ C$ 时布罗德兰兹型水沸腾所获气相的冷凝。A、气相组成(摩尔数)，B、冷凝物中溶解组分的摩尔浓度，C、因冷凝沉淀的固相(摩尔数)。矿物缩写参见图3

时为止。As存在于气相中,130°C时雌黄升华。硫化物的气相搬运则需要更高的温度(>400°C)。

酸化模式

活动地热体系和浅成热液体系中的另一种重要的成矿作用是上升的沸腾水与下渗的、由冷凝H₂S气体于地表氧化产生的酸性硫酸盐之间的反应。它对于热泉矿床中金属分带特征的形成起着主要的作用。为了评价酸性硫酸盐水在沸腾热液上升过程不同阶段混合中的作用,我们将布罗德兰兹型水始于280°C沸腾,于200°、150°、101°C时所产生

的液相、矿物和气相与硫酸进行反应。假定气体未自体系中逸出,矿物未分馏。这些反应的流程示于图9中。

1、200°C时与H₂SO₄、HCl之间的反应
盐酸和硫酸滴定结果的总趋势(图10)相同。200°C酸化时,斑铜矿、辉铜矿取代黄铜矿,早先沸腾所形成的闪锌矿、黄铁矿、硫银矿、硅酸盐发生溶解。贱金属硫化物因PH降低而溶解。在较低,

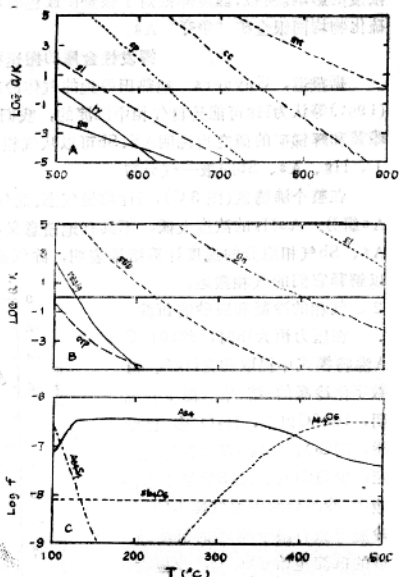


图8 1b、900°—100°C时类似布罗德兰兹型水的均质干燥气相的平衡,A、900°—500°C间矿物的饱和指数log(Q/K),B、500°—100°C间矿物的饱和指数,C、500°—100°C间As、Sb气相组分的分布。矿物缩写参见图3

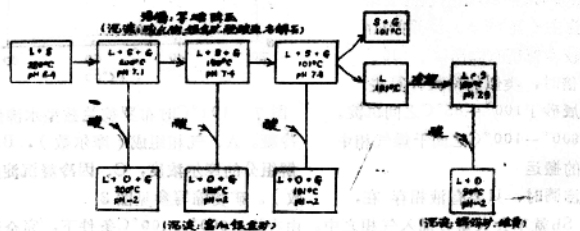
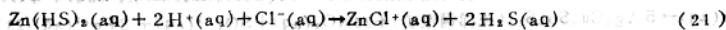


图9 本文模拟的酸化反应流程。L、S、G、O分别代表液相、固相、气相和矿物

的pH值条件下, 金属的氯络合物取代硫化物络合物, 如:



绿泥石在 $\text{PH} < 7$ 时溶解。 $\text{PH} < 6.5$ 时, 白云母交代微斜长石。 $\text{PH} < 5$ 时, 溶液中仅剩金、银(银金矿)和石英。两种滴定反应之差别主要由氧化引起, 硫酸滴定使 SO_4^{2-} 活度增加, 而盐酸滴定使 SO_4^{2-} 活度降低(图10B、F)。

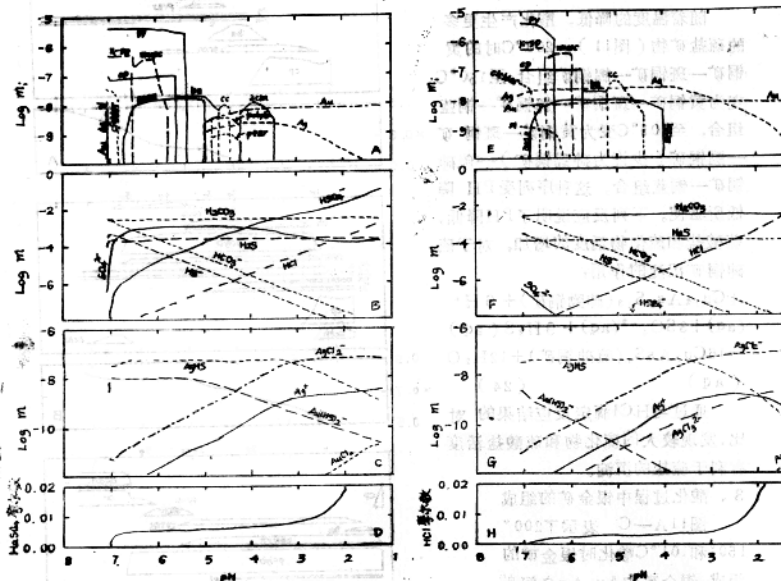
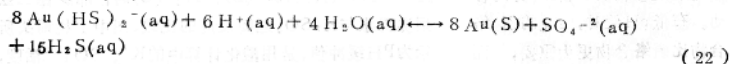


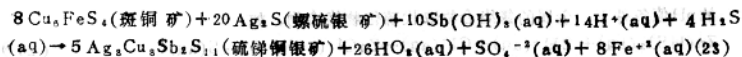
图10 200°C时布罗德兰兹型沸腾水与 H_2SO_4 (A—D)、 HCl (E—H)的封闭体系酸化结果, A、E、矿物丰度, 用每千克液体+气体溶液中的摩尔数来表示, B、F、酸性组分的摩尔浓度, C、G、贵金属组分的摩尔浓度, D、H、 H_2SO_4 、 HCl 的滴定曲线, 矿物缩写参见图3。

硫酸盐活度的增加以及 H_2SO_4 滴定中 H_2S 活度的轻微上升, 使沸腾所形成的金发生溶解, 反应如下:



当 PH 值较低时, 酸化的影响超过了硫酸盐的作用, 而使金重新沉淀出来。而盐酸滴定则使金按反应(22)进一步沉淀。

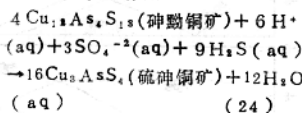
PH 为4.2—5时, H_2S 活度的增加使硫锑铜银矿—硫砷铜银矿固溶体取代螺硫银矿、斑铜矿, 其反应式为:



当 $\text{PH} < 4.2$, 螺硫银矿重新出现, 而 $\text{PH} < 3.5$ 时, 其又完全溶解。

2、150°、101°C时的酸化

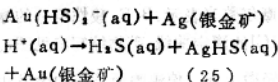
随着温度的降低, 酸化产生更多的硫盐矿物(图11)。200°C时的黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿组合, 至150°C变为黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿—铜蓝组合, 至101°C变为黄铜矿—斑铜矿—黝铜矿(少许为砷黝铜矿)—硫砷铜矿—铜蓝组合。这种序列受PH降低所驱使。下列反应说明了PH降低, 硫酸盐和硫化物活度的增加, 对于硫砷铜矿沉淀的作用:



通过与HCl滴定反应结果的对比, 发现较大的硫化物和硫酸盐活度有利于硫盐的沉淀。

3、酸化过程中银金矿的组成

图11A—C表示了200°、150°和101°C酸化时银金矿的组成。银金矿中Au、Ag之间的置换反应为:



酸化使反应朝右、富Au方向移动。在低pH值时, Ag的氯络合物比硫络合物更为重要, 而Au仍呈硫络合物(图10C, G), 所以, 进一步的酸化可以产生近乎纯净的金(图11A), 反应如下:

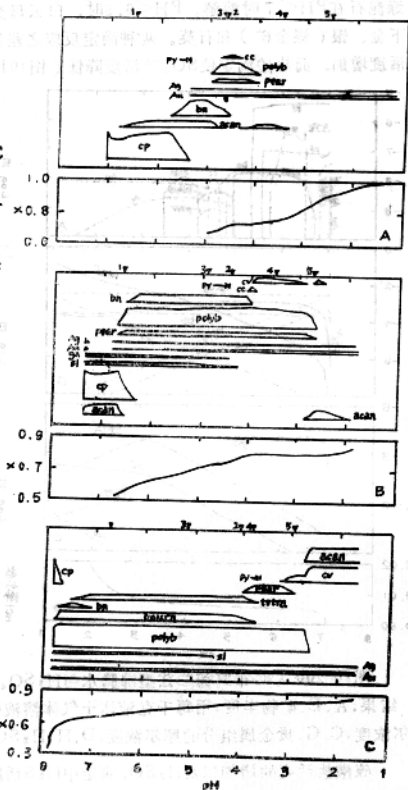
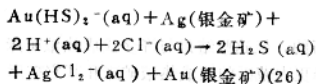


图11 200°(A)、150°(B)、101°(C)时, 布罗德兰兹型沸腾水与 H_2SO_4 之间反应的比较, 图中上栏箭头所示为PH缓冲值, 是用酸化计算中的 K^+ 、 SO_4^{2-} 活度, 并假定与下述矿物达到平衡: ①钾长石、白云母、石英; (2) 钾长石、白云母、非晶质二氧化硅; (3) 白云母、高岭石; (4) 高岭石、明矾石、石英; (5) 高岭石、明矾石和非晶质二氧化硅。标有“Py”的

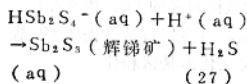


箭头表示PH低于其所指值时,有大量黄铁矿溶解。矿物缩写参见图3。上图示共生组合,下图示银金矿的Au/(Au+Ag)比值。

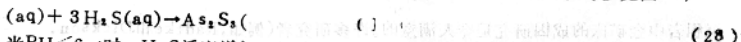
因此,作为一般法则,酸化导致富Au银金矿或近乎纯净的自然金的形式,而在更碱性的沸腾条件下沉淀的银金矿则比较富Ag。由于地热体系中与酸性硫酸盐水的混合主要发生于近地表,所以浅部的金的成色较高。

热泉环境中的酸化

将酸性硫酸盐水在90°C时与沸腾始于280°C的布罗兰兹型水于101°C所得液相进行反应,结果示于图12A—C中,由图可知,90°C酸化时,沉淀有相当量的雌黄和辉锑矿,同时,也沉淀有硫砷铜矿、自然金、铜蓝,但因它们于酸化前于101°C沸腾时,已与溶液相分离,所以它们的数量很低。图12B表示了As、Sb溶解组分的分布,由于温度低、PH为7.5—4.8时,Sb以硫化物为主。酸化时,辉锑矿在PH为5.4时,开始按下列反应沉淀:



雌黄的沉淀反应为: $2\text{H}_3\text{AsO}_3$



当PH<6.4时, H_2S 活度增加,反应(28)朝右移动,雌黄沉淀。此时, HS^- 量很低,进一步酸化不会形成多少 H_2S , 所以,溶液中仅有1/10的As发生沉淀。PH<3时,因硫化物的氧化、稀释(图12C)雌黄、辉锑矿重新溶解。

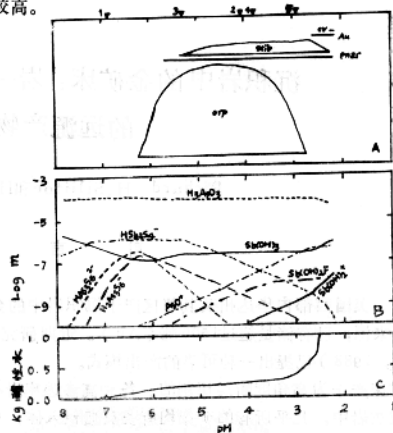


图12 90°C时沸腾的布罗德兰兹型水与酸性硫酸盐水之间的混合。A、矿物共生图解; B、As、Sb溶解组分的浓度; C、滴定曲线,矿物缩写参见图3。箭头所示为PH缓冲值(参见图11)

结 论

- 1、热液沸腾可以导致贱金属硫化物、硫盐和富Ag银金矿的沉淀。
- 2、300°C以下沸沸时,溶液中大部分Hg分馏入气相中,而几乎所有的As、Sb保存于溶液中,除非溶液全部沸腾为气相。
- 3、沸腾水的酸化导致由沸腾产生的硫化物的溶解、或者为硫盐所取代,也导致富Au银金矿或近乎纯净的自然金的沉淀。

4、含As、Sb矿物的沉淀，主要由温度降低、pH减小所驱使，同时也受硫化物和硫酸盐的活度增加所驱使。

尽管该模拟研究是就特定的地球化学体系进行的，但这些结果与许多浅成热液矿床的特征极其吻合，它所得出的反应机理可用于解释更大范围的浅成热液矿床和其它矿床的化学特征。

编译自《Economic Geology》 Vol.84, No.2, 1989,
P328—359

王小春译 李明 校

沉积岩中的金矿床：岩—浆热液体系 的远源产物

Richard H. Sillitoe和Harold F. Bonham Jr.

引 言

美国西部内华达州及其邻区产于沉积岩中的金矿床或卡林型浸染金矿床，是金的主要来源，已有储量超过1500吨(Au)。近期研究(Bagby和Berger, 1985; Percival等, 1988)已提出一种可靠的产出模式。

矿床产于为高角度断层切割的、各种高渗透率岩石，尤其是薄层状的粉砂质白云岩或灰岩中。几乎所有的矿床均有长英质侵入体，它们常呈岩脉或岩床产出。矿体产于断层带、或呈断层带附近的不规则状交代体。矿化以显微一次显微粒径的Au，伴有As、Sb、Hg、Tl、Ba、F以及W、Mo、Sn，但贫贱金属为特征。含金岩石遭受去碳酸盐化、硅化和泥质蚀变，且与构造就位的碳酸盐岩石的碧玉交代体紧密相伴。

成因模式

沉积岩中金矿床的成因研究是令人满意的。许多研究者(例如，Radtke和Dickson, 1974; Hofstra等, 1988; Percival等, 1988)认为，金源于沉积岩，尔后沉淀于晚新生代地热体系中，后者是由盆岭拉伸背景的高热流造成的。按此模式，金沉淀位置较浅，且其似应归属为沉积岩中的浅成低温热液矿床。然而，地质研究(Bakken和Einaudi, 1986)和流体包裹体研究(Kuehn和Bodnar, 1984; Hofstra等, 1988)对浅成成因的证据提出了质疑，而认为金是由非沸腾流体在1—3km或更深的地方沉淀的。近期在几个产于沉积岩中的金矿床(如，内华达州的Goldstrike Deep Post、Getchell、和金坑西，以及犹他州的Mercur)内600—1000m垂深范围内相同矿化类型的发现，也排除了简单的浅成低温热液模式。

我们认为，沉积岩中金矿床的这种地热模式没有有效的放射性年龄资料和其它地质参数的佐证，后两者显示矿化与中新世盆岭扩张初期以前的侵入活动有关。此模式不能解

释美国西部受晚新生代盆岭断层控制的已开发的地热体系中为何缺乏重要的沉积岩中的金矿化。这里,我们提出另外一种成因模式,其中金是由浅成的侵入体提供的,金矿是作为远源交代矿床的形式形成的(Sillitoe, 1983; 参见 Roberts等, 1971; Alvarez和 Noble, 1988)。马来西亚东部Sarawak Bau地区产于沉积岩中的金矿床,以及美国西部新近发现的几个沉积岩中的金矿床为这种与侵入体有关的成因模式提供了佐证,我们选择Bau地区作为典型实例,是因为金矿化只与一个侵入事件有关,而不象美国西部金矿化与侵入之间的关系比较复杂的缘故。

Sarawak 的 Bau 地区

Bau地区产金约40吨;其下伏岩性为晚侏罗世—白垩纪的块状灰岩和钙质页岩,它们在中新世中—晚期为微花岗岩—英安斑岩的岩株、岩床和岩脉所侵入。侵入体和金矿床呈NE—NNE向的线状带,其至少30km,宽达8km。该带包括了NE—NNE向的高角度正断层和一部分区域性E—NE走向的背斜,以及一组直交的分支断层和裂隙。据信,这个带反映了深的地壳薄弱带。

Bau地区产有各种类型的金矿化。含有低品位的Cu—Mo—Au矿化的斑岩型石英网脉至少在四个斑岩岩株中与钾质硅酸盐化和绢云母化蚀变有关。斑岩岩株也有含毒砂、闪锌矿、方铅矿和辉钨矿的热液角砾岩、脉体和浸染交代体,它们均含金,且与强的绢云母化相伴。

某些斑岩岩株与围岩之间的接触带发育钙硅酸盐砂卡岩,其含微量的Cu矿化,无明显的金矿化。砂卡岩边缘以外、产于大理岩化灰岩中、受陡倾断层控制或平行层理的含金脉内,也有钙硅酸盐集合体。这些脉体中含有方解石、硅灰石、石英以及次要的钙铝榴石、绿帘石和符山石,它们与含Au、As、Sb的矿物共生。

Bau地区主要的金矿床趋向就位于远离斑岩岩株,而与岩脉和岩床关系密切。矿体产于陡倾断层附近、灰岩和页岩接触面之下。两种岩石均遭受硅化,变成为碧玉或石英胶结的热液角砾岩。平均6—9g/t的Au、As(呈毒砂、雄黄、雌黄和自然砷形式产出)和Sb(呈辉钨矿形式产出)是与SiO₂一起引入的。

最近,在Jugan离岩株露头2km处、为岩脉侵入的去方解石化、泥化和弱硅化页岩中,发现一个大的、伴生有毒砂和黄铁矿的浸染状金矿化的透镜体。

Bau地区无数规模小但品位高的脉金矿床产于块状灰岩的断裂、裂隙和层理面。脉体含有粗粒的方解石、锰方解石,以及后期与黄铁矿、辉钨矿、雄黄、雌黄、自然砷、毒砂和自然金相伴的石英。

Bau地区的金矿化由侵入体中心向外均有发育,但主要金矿床位于侵入体之外较远位置,具有与美国西部沉积岩中金矿床相同的地质、矿物和地球化学特征。

其它与侵入体有关地区的沉积岩中的金

在犹他州Bingham,约780吨的Au产于年龄为38Ma的二长斑岩内的Cu—Mo网脉中;至少有80吨Au产于邻近的Cu砂卡岩中;更远一些,Zn—Pb—Ag碳酸盐交代体中,也含有相似数量的Au。Mel—Co和Barney's峡谷沉积岩中的金矿床,分别距离岩株露