

地质工作参考资料(第三十三辑)

臺灣地質礦產 文獻選編

(一)

福建省地矿局科技情报室

台湾地质矿产文献选编 (一)

编辑: 福建省地矿局科技情报室

出版: 福建省地矿局科技情报室

印刷: 福州市郊区文化印刷厂

日期: 1990年6月

地址: 福州市塔头街19号

邮政编码: 350011

前 言

为了促进海峡两岸的学术交流，更好地了解台湾省地质工作开展情况和所取得的成果，我们将陆续编辑出版《台湾地质矿产文献选编》。需要说明的是，这些文章都是从近期台湾地学刊物中挑选的，大多是用英文刊印。由于两岸学者在译名用词上的不同，限于时间和水平，有的作了统一，有的保持原文的用词。因此，肯定存在着许多问题，望批评指正。

让这本专辑在增进海峡两岸地学工作者相互了解和友谊方面作出微薄的贡献！

福建省地质矿产局科技情报室

1990.9.于福州

目 次

试论砂金矿床形成的地质条件·····	李 力 郑 超(1)
辽宁五龙金矿床成因及成矿模式探讨·····	石铁铮(5)
四道沟金矿成矿流体基本特点 ·····	石 成 郑 超等(8)
辽宁四道沟金矿床的迭加褶曲构造 ·····	肖成信(13)
辽河群片岩建造中蚀变岩型金矿床的构造控制规律 ·····	刘 辉 王建国等(20)
金属矿床氧化带中金的次生富集机制及影响因素 ·····	马民涛(25)
红花沟金矿床主要矿物的成因矿物学特征及应用 ·····	王建国 刘 辉(29)
夹皮沟八家子金矿床的控矿因素及成矿机制 ·····	乔尚金(38)
紫荆关断裂带深部特征及发展过程推论 ·····	张忠生(42)
金厂沟梁金矿 57 号脉矿石的矿物组成及金的赋存状态·····	曲仲贤 于志凯(47)
利用构造捕虏体确定金矿成矿压力 ——以红花沟金矿 2~3 [#] 脉为例 ·····	沙成满(54)
太古代绿岩带的基本特征和成矿特点 ·····	杨红英(60)
红英沟金矿田同成矿构造与控矿类型 ·····	赵纯福(65)
红花沟金矿田片理化带特征及其找矿意义 ·····	李维群(68)
内蒙红花沟金矿田岩性界面控矿 ·····	于明旭 甘盛飞等(72)
五龙金矿黄铁矿标型特征及意义 ·····	赵玉山(78)
辽宁五龙金矿的围岩蚀变及找矿意义 ·····	刘桂芝(82)
元素地化特征数学地质研究及找矿预测 ·····	侯根群 邱玉民等(87)
河南崮山金矿微量元素统计特征 ·····	礼彦君 宋文君(92)
矿物包裹体气相成分分析方法的研究 ·····	于志凯(98)
灰色系统理论在流体包裹体找矿预测中的应用·····	陈 敏 李 力(101)
在金的表生成矿过程中细菌的作用·····	王恩德(109)
十年来我国矿物学发展概况·····	石铁铮(114)
辽东某区金的地球化学特征与找矿预测·····	李桂发 朱起珊等(117)
不平行断面间矿块储量计算新方法·····	李春良(121)
论糜棱岩的分类·····	甘盛飞 邱玉民等(130)

试论砂金矿床形成的地质条件

李 力 郑 超

(科研处) (地质系)

砂金. 为外生地质作用条件下形成的砂状金, 砂金矿 Placer Gold 一词则由西班牙语演化而来, 它起源于南北美的西班牙淘金者, 主要指由原生金矿床或含金地质体经外生地质作用如风化、剥蚀、搬运、沉积等作用后, 在河流中某个部位聚集而形成的金矿。

由于砂金矿具有产出较浅, 易采易选等特点, 尽管其品位远较原生金矿为低, 但仍为世界黄金的主要来源, 据不完全统计, 目前, 砂金产量约占全世界黄金产量的 40% 左右。因此, 进行砂金矿床成矿地质条件的研究, 具有非常重大的经济意义, 同时砂金矿床的发现常可作为原生金矿的指示标志, 故研究其成矿地质特征, 又有一定的地质意义。

现从砂金矿床的成矿地质条件出发, 对其形成过程及主要控矿地质因素做一初步分析。

1 外生条件下金的地球化学性质。

据研究, 金在地球中的分布极不均匀, 地核中金的平均含量可达 0.005%, 而在地壳中金的平均含量仅 0.0035g/t, 在长期的地球演化过程中, 有 98.4% 的金进入了地核。地壳中的金不但含量低而且分布较为均匀, 它主要以自然金的形式存在于其他的矿物和岩石中, 另外在各种生物体和水体中, 也有分布。

金, 属于第六周期第一副族之元素, 位于元素周期表中的镧系收缩后面, 故其具有较小的原子半径, 其核外电子排列的异常紧密, 其外层电子的排列分布为 $5d^{10}6s^1$, 其第一电离势为 9.23 电子伏特, 其电负性为 2.3, 由于这种电子构型不太稳定, 有失去 1~2 个 d 电子的可能性, 因此它具有一定的化学活动性, 但又由于它具有较高的电离势和电负性, 故在一般条件下又表现的异常稳定, 地表条件下不易被氧化, 当它在地表流水作用下, 经机械搬运到适宜的水动力环境中则能堆积下来与砂砾一起形成机械冲积型砂金矿床。又因具有亲铁和亲硫的双重特性, 故在适宜的物化环境中, 它可呈 $AuCl_2^-$, $Au(OH)_4^-$, $HAu(SO_4)^-$, $Au(HS)_x$ 及 $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$ 等不同的络合物形式呈悬浮状态存在于地表流水中, 在合适的物化条件下, 又可使这些含金络合物破坏使金沉淀下来, 从而形成一些次生金矿床。

在表生环境中, 呈自然金状态产出的金, 平均成色一般较内生金高, 其晶体形态较复杂, 据苏联外喀尔巴阡拗陷区砂金形成研究资料表明: 表生金晶体多为六, 八面体聚形, 其中以八面体晶面(111)最为发育, 金的外形一般为粒状、板状、不规则状等。一些机械沉积砂金, 在其表面可见到一些划痕。

2 搬运介质及动力条件对砂金矿形成之意义

形成砂金矿床的主要搬运介质是水, 因此地面流水动力是砂金矿床的主要营力, 另外还有

冰川、风等介质。

(1) 地面流水动力条件

地面流水在砂金矿床特别是冲积砂金矿床的形成过程中具有极为重要的意义。在重力作用下,地表的一些面流、线流不断地对原生金矿床和含金地质体暴露在地表的部分进行冲刷,剥蚀、破坏和改造,而使得赋存在其中的金被解离出来,在合适的水动力条件中进行搬运,其主要的运动方式无外乎悬运、拖运和跃运三种方式。在这种几乎纯机械搬运的过程中,原生金粒表面可由于周围砂粒的磨擦而使其表面产生划痕并不断使其金粒变小。一些重量和颗粒较大的金粒可搬运不远距离而提前沉积下来,一些颗粒较细小的砂金则可搬运很远距离才沉积下来,砂金在流水中的搬运方式,取决于它们的比重和水的流速,据实验表明:只有在水的平均流速达到砂金下沉速度的 13 倍时,才能使砂金颗粒呈悬运形式搬运,同时,具有较大面积的砂金颗粒易于搬运,在河流中,较小流量的山区溪流上游砂金以拖运占主要地位,而在较大河流的中下游,则悬运占主要地位。

砂金颗粒一旦下沉,若区域内无明显的构造运动则其一般不再易位,即使洪水作用时,则仅其上部活动层受到冲刷,其下部的金粒迁移不会太远。

(2) 湖海岸滨的侵蚀冲刷与砂金矿之形成

在海盆和湖泊的滨岸地带,拍岸浪和滨岸水流的作用可形成滨岸砂金矿,滨岸的原生金矿床和含金地质体在受到拍岸浪的冲刷和破坏时,能为滨岸砂金矿床的形成提供金的来源。

以内陆湖泊而言,只有巨大的内陆水盆,才具有形成滨岸砂金矿的流水动力条件,而小面积的湖泊则无此可能。

海洋地质作用则最有意义,在波浪,潮汐和海流的作用下,当有相当数量的砂金进入其活动范围时则很快产生分选聚集作用,沿海岸横向迁移,当其被携带到适宜的滨岸地带时,沉淀下来,富集成矿。滨岸砂金矿床的规模一般不大。

冰川地质作用也可形成冰碛砂金矿和冰水砂金矿,风对砂金矿床的形成具有一定作用,不过此两类砂金矿床分布极少,其经济意义不大。

3 构造条件与砂金矿床形成之关系

砂金矿床是含金区地壳变动和长期的构造运动演化之产物。区域性的地质构造与砂金矿床的形成与分布密切相关。每个大的砂金矿所在地区均遭受一次或多次地隆起剥蚀和沉积作用,在其成矿过程中,不论是地槽区或者地台区,都与区域性隆起有关,其中新构造运动对其影响更为明显,构造隆起可使原生金矿床和含金地质体经受长期的剥蚀作用,其中的金可被解离,搬运而成为砂金矿床的补给源,砂金矿有利的构造部位是:

(1)两个不同性质的构造单元相接壤的部位。因该部位一般裂隙较发育,易风化剥蚀,水系也较发育,故可为砂金矿床之形成提供一定的场所和动力条件。

(2)向斜构造。一些大型向斜中的裂隙,节理风化剥蚀后,形成所谓小型断陷盆地,为砂金矿床形成提供了一定场所。

(3)地台区拗陷带和内陆断陷盆地。在地台区广泛发育的太古代含金地质体被风化剥蚀

后,可通过地表流水而搬运到地台区的拗陷带和内陆断陷盆地中形成砂金矿床。

(4)新构造运动对砂金矿床的形成有直接影响,新构造运动对现代砂金矿床的形成和保存尤其重要。它一方面不断地为形成新的砂金矿创造条件;另一方面也不断地破坏着一些旧的砂金矿床。

4 地貌条件对砂金矿床形成之影响

地貌条件不仅影响砂金矿床的矿质补给源而且还对矿床的形成条件产生直接的影响。又因砂金矿床的形成,主要与流水动力有关,所以这里主要谈一谈流水地貌对砂金矿床形成之影响。

(1) 山岳地貌条件

在下蚀作用较强的高山河谷区,风化剥蚀的含金物质随时都有被深谷激流冲走之可能,故不易形成各类冲积型砂金矿。只有在中山和丘陵地区,由于地形较缓,下蚀作用和水动力条件相对较弱,由高山地区带来的成矿物质易于沉积下来,形成冲积型砂金矿,故中山和丘陵地貌是砂金矿床形成的重要条件。

(2) 水系地貌条件

水系地貌的格局反映了一定的地质构造条件,它控制了流域的给水区和水流方向,故它对砂金矿的形成至关重要,一般说来,水系中次一级的支流或主流上游对砂金矿形成较为不利。此地段一般处于中山或丘陵地貌条件下水动力条件较为适宜的部位。水系的汇水面积对砂金矿床的形成也有影响。汇水面积较大,流程相对较长,剥蚀程度较强的水系中,对砂金矿形成有利。综合考虑动力条件,则在两条河流的交汇处,尤其是两条河流呈“Y”形相交的部位,则有利于砂金矿床之形成。另外在河流心滩的迎水和背水部位(即“开门山”和“关门山”的微地貌条件)及河流由窄变宽处等均为砂金矿床赋存的场所。

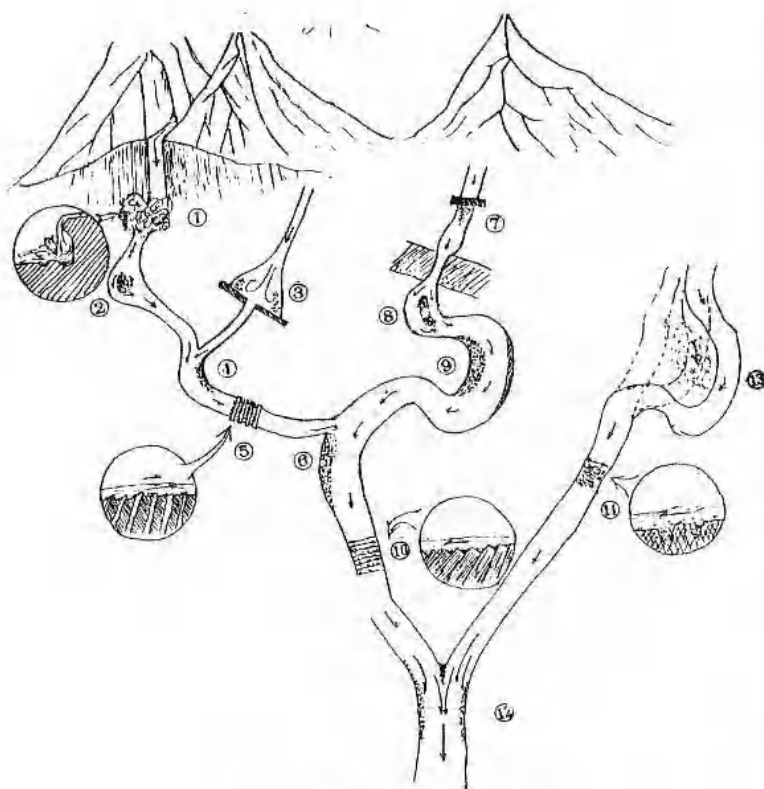
(3) 河谷地貌

河流是砂金成矿物质搬运、沉积成矿的主要动力机构,砂金矿床之形成与河流的微地貌条件及河流的演化发展密切相关,在河谷的纵剖面上,上游河谷的坡度一般较陡峻,水流较急,冲积物及砂金不易停积成矿。中游地段,特别是地形起伏不平,裂点较多的区段,由于水动力条件之减小,则为砂金矿富集的有利部位。河床的底岩岩性的差异也对砂金的沉积富集有一定影响。

河谷的下蚀和侧蚀作用对砂金矿床的形成尤为重要,上游的高山急流地貌条件为风化剥蚀含金地质体提供了较为有利的环境,中下游的侧蚀作用则为成矿产物的沉淀保存提供场所,河流侧蚀作用的结果,可使河床砂金矿向河谷砂金矿演化,并在古河床地貌中保存下来,河谷砂金矿的宽度,一般均大于河床宽度,若伴随有构造运动,则它们又可转变为阶地砂金和埋藏砂金矿。

河流的演化,对砂金矿床的形成有一定影响,壮年期的河流对砂金矿的形成最为有利。

砂金矿床在河流及水系地貌中的赋存有利部位:



形成冲积砂矿的可能位置示意图

- 1—河流由陡坎形成瀑布、冲刷河床形成凹地；
- 2—旋水作用下，水流向凹岸冲蚀，形成一个形如胃口袋，可使砂金富集；
- 3—河流由窄变宽或为坚硬岩面所阻地方，产生环流作用产生富集；
- 4—支流与主流汇合处，水流受阻、速度减慢产生富集；
- 5—河床中坚硬岩面突出部分的上下集金最富；
- 6—主流与支流呈“Y”型呈相汇最有于砂矿富集；
- 7—金富集在含金矿脉下游附近；
- 8—宽谷式地形对砂金聚积情况（开门金、关门金）；
- 9—河流凸岸富集金；
- 10—在页岩逆流条件下的砂矿沉积；
- 11—被溶蚀河床底最利形成矿囊砂金；
- 12—两条河流汇合处所形成的砂金矿；
- 13—河道的改变与砂床沉积，是⑨发展的结果。

5 砂金的补给源条件

处在表生条件下的原生金矿床和含金地质体经风化作用后，均可成为砂金的补给源，补给源的好坏是砂金矿床形成的物质基础和先决条件。按补给源的性质可把砂金矿的补给源分为原生补给源和次生补给源两种类型。原生补给源即为砂金矿床的成矿物质基础，这些补给源可以是原生金矿体，可以是古老的基底含金地层和含金岩体，也可以是某些含金的蚀变带及金矿化的断裂带。次生补给源则主要指较早地质时期形成的砂金矿或表生作用形成的含金地质体，由于砂金矿的这种继承性和再生性，故自元古代到第四纪形成的砂金矿，均可做为现代砂金矿床的次生补给源。

砂金的来源对砂金富集有一定影响，其补给方向和补给源的距离对其影响尤为重要。一般说来，单源补给的砂金矿规模不大，若其距离较近则一般品位较高，多源补给的砂金矿（两个或两个以上时代的原生源和次生源补给）规模较大，品位也较高。

（下转第24页）

辽宁五龙金矿床成因及成矿模式探讨

石铁铮

(岩矿教研室)

五龙金矿床是产于辽河群地层中的含金石英脉型金矿床。从发现迄今已有几十年开采历史,现已探明储量属大型金矿床。研究其成因,成矿模式对指导找矿勘探有着重要意义。

关于五龙金矿床的成因,目前有两种主要观点,即变质热液型和岩浆热液型。前者主要依据是金矿赋存于早元古界变质岩、混合岩中,并明显地受变质岩的片理、片麻理、层间断裂及其它裂隙控制。后者认为金矿属中高温热液成因,与燕山期三股流花岗闪长岩有关。通过对金矿与构造、岩浆活动及矿脉与岩脉等特征分析研究,探讨了金矿与燕山期岩浆活动的成因联系。

1 金矿与构造的关系

五龙金矿床位于鸭绿江大断裂西侧与坦丹复背斜的交汇部位。属宽甸断块东部边缘。区内早期发育有东西构造体系,后有新华夏构造体系及华夏系的复合,东西向构造体系奠定了区内的构造格架,它的两组扭性断裂为新华夏构造体系迁就利用,发育成菱形格子状,控制了矿体的空间展布。

按断裂走向,可分为近东西、北东、北北东、北西及南北等五组,各种方向的断裂具有多期活动特点,绝大部分被不同类型脉岩充填,按与成矿关系可分:

(1) 成矿前断裂

近东西组压性断裂为东西向构造的压性构造面,走向 $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$,倾向南东,倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,被片状闪长岩类及片状石英脉充填。近南北组张性与扭性复合断裂,走向 $350^{\circ}\sim 0^{\circ}$,倾角近直立,均被花岗斑岩类充填。

(2) 成矿期断裂

北北东组含矿压扭性断裂走向 320° 左右,倾向南西,倾角 $40^{\circ}\sim 85^{\circ}$,亦被成矿前的细粒闪长岩脉和含金石英脉充填。

北东组含矿压性断裂主要发育在矿区西南部,走向 45° ,倾向北西,倾角 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,被含金硅化碎裂岩及含金银蚀变岩充填,平面上呈舒缓波状,含较多的围岩构造透镜体。

(3) 成矿后断裂

近南北组和近东西组张扭性复合断裂分别被煌斑岩类和辉绿玢岩脉充填,对含矿地质体均有破坏作用。

北北东压性断裂走向 20° ,倾向北西,倾角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,延长数千米,纵贯全区,宽 $12\sim 20\text{m}$,

断层内赋存有大量挤压断层泥,并有细粒闪长岩脉,含金石英脉等不同岩性的构造透镜体,表现为这组构造的多期复活的复杂性。

五龙金矿床的空间展布,严格受北北东向及北西向两组断裂控制,这两组断裂分别于 700 米和 1000 米左右的间距成群成带产出,并且相互制约构成菱形格子状。

2 岩浆岩与金矿关系

区域岩浆活动频繁,以吕梁期最广泛,具多期性,早期伴随区域混合岩化作用形成片麻状黑云母花岗岩及片麻状二云母花岗岩,呈东西向分布于矿区中部。五龙金矿床主要赋存于其中。燕山期岩浆活动强烈,燕山期岩株状三股流花岗闪长岩呈东西向分布于矿区南部。

区内岩浆活动表现在各类脉岩的广泛侵入成群成组分布。各类脉岩的生成顺序、主要特征及与成矿关系列表说明如下表:

脉岩特征及其与矿化关系表

与成矿关系	生成顺序	脉岩及矿化蚀变带名称	总体走向	主要特征
成矿前	1	片状细粒闪长岩	近 EW	强片理化,灰白色,玻璃光泽,片状构造。与片状细粒闪长岩伴生。
	2	片状石英脉	近 EW	
	3	片状花岗斑岩	NW	
	4	伟晶岩脉	NE—近 EW	扁豆状,团块状
	5	细粒闪长岩脉	NNE—NW	含金石英脉的主要围岩
	6	花岗斑岩脉	SN—NNW	规模较大,贯穿全区
成矿期		块状含金石英脉	NNE—NW	油脂光泽,围岩蚀变强烈,与细粒闪长岩伴生。找矿勘探对象。
	7	柱粒状含金石英脉	NE—SN	玻璃光泽、柱粒状结构,围岩蚀变强烈,与细粒闪长岩伴生。找矿勘探主要对象。
	8	含金硅化碎裂岩带	NE	强烈硅化的动力碎裂岩带,有石英网脉穿插、围岩蚀变强烈。找矿勘探对象。
	9	含金银砷蚀变带	NE	梳状、晶洞状构造
成矿后	10	含铅铜蚀变带	NNE—SN	破碎带内胶结早期脉岩及含金石英脉角砾,具梳状角砾状构造。有方铅矿、黄铜矿。金矿化弱。
	11	煌斑岩	近 SN	含磁铁矿
	12	辉绿玢岩	近 EW	辉绿结构、节理发育

(引自辽宁 103 队,1985)

含金石英脉与细粒闪长岩紧密伴生在同一构造内,说明了它们大体上是在同一时期形成。金矿脉在空间上围绕三股流花岗闪长岩体分布,并向矿区南部即岩体方向侧伏。花岗闪长岩体

内有银铜铅铋锡元素异常,与矿体的元素异常相似。矿体围岩片麻状黑云母花岗岩的钾—氩年令为 106~115Ma。因而可以确信,五龙金矿床的形成与矿区南部的三股流花岗闪长岩的活动密切相关,矿液来自其深部。

3 成矿物质成分特征

矿区 $\delta^{34}\text{S}$ 值的分布范围为 +0.9‰——+3.5‰,算术平均值为 +2‰,塔式分布特征明显,具有一般岩浆热液矿床特征。

对 7 条含金石英脉 41 个石英样品爆裂法及均一法测温结果,可分为二个成矿温度;中高温(254°~335℃)及低温(130°~190℃)以中高温为主。反应了多阶段成矿的特点。

成矿溶液中含有 Cl^{-1} , F^{-1} , $(\text{SO}_4)^{-2}$ 等阴离子,按含量多少顺序为 $\text{Cl}^{-1} > (\text{SO}_4)^{-2} > \text{F}^{-1}$ 与玲珑花岗岩及花岗岩石英脉中的阴离子具有相似特征。

对 2 脉、520 脉各做一个氢同位素样品,测定结果, δD 值 -77.8~-80.8‰,属岩浆岩水。

含金黄铁石英脉切割的花岗斑岩脉全岩钾—氩法测得年令为 117Ma,切割含金黄铁石英脉的细粒闪长岩脉全岩钾—氩法测得年令为 52Ma,进一步证明了金矿成矿时代是中生代和燕山期构造—岩浆活动对成矿的主导控制作用。

根据测定的铅同位素组成,计算了模式年令和源区特征值,模式年令大致为 719~779Ma 及 814~874Ma 两组。表明五龙金矿床的铅来自前寒武纪古老地质体。

4 成矿模式

五龙金矿床的成矿物质来源于早元古代辽河群变质岩系地层,原岩为多次海底火山喷发—海相沉积建造。辽河群中金的丰度较高(王恩德 1989)。在经燕山期构造—岩浆作用,在岩浆热动力的驱使下,促使地层中的金活化、迁移、富集,最后定位于片麻状黑云母花岗岩中形成岩浆热液矿床。

四道沟金矿成矿流体基本特点

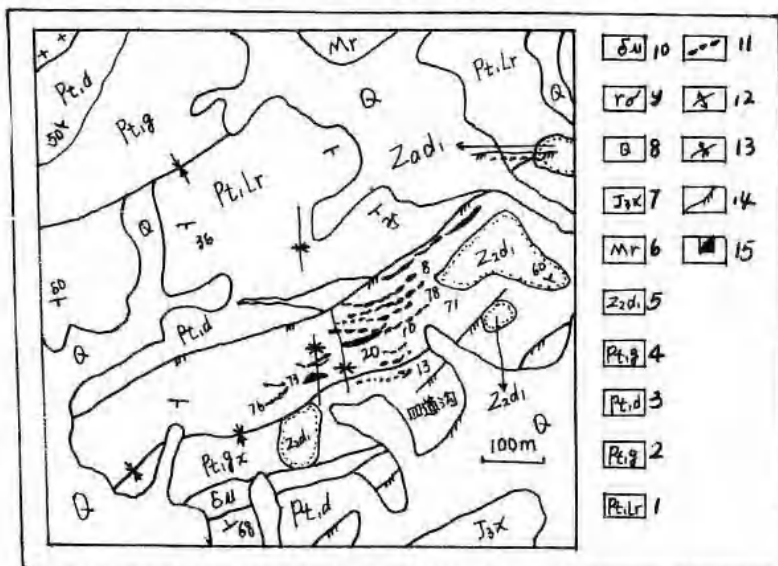
石 成 郑 超 马民涛 杨红英

(地质系)

1 成矿地质特征概述

四道沟金矿位于辽宁省丹东市南七公里处,鸭绿江断裂西约两公里的挤压破碎带中,是五龙金矿的一个分矿。它的成矿严格受元古界盖县组地层控制,其赋存围岩主要为变质砂岩及强破碎的石墨化片岩,岩石金丰度较高,一般为7~700ppb。矿区内的金矿化主要有三种类型:含金蚀变破碎带,含金硅化大理岩和石英脉型,含金蚀变破碎带是主要开采对象,后两种未发现具工业价值的矿体。

矿体以层状、似层状、扁豆状及脉状、巢状、不规则状充填交代于盖县组地层的层间破碎带及层间断裂带中,尤其当破碎带与变质砂岩相接触时,成矿规模较大,品位亦高。目前已知有26个工业矿体,成群成带出现,根据矿体的空间组合,将其分为2,8,13,20,77,78号等几个矿脉,尤以8,77,78号矿化带中工业矿体最多。这些矿体主要分布在矿区中部,受北东—南西倾伏的竖井背斜控制,如图1。矿床围岩蚀变发育有硅化、绢云母化、黄铁矿化等,蚀变愈强,矿化程度愈高。矿体内矿物组合较简单,金属矿物以黄铁矿为主,其次有少量的磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿,非金属矿物为石英、绢云母、长石及方解石等。金的赋存状态主要为裂隙金和包体金存在于黄铁矿和石英中,其成色为810~933。



- 1—辽河群里尔峪组;
- 2—辽河群高家峪组;
- 3—辽河群大石桥组;
- 4—辽河群盖县组;
- 5—震旦系钓鱼台组;
- 6—前震旦系混合花岗岩;
- 7—侏罗系小东沟组;
- 8—第四纪冲坡积层;
- 9—燕山期花岗岩闪长岩;
- 10—中生代闪长岩脉;
- 11—矿化带及编号;
- 12—背斜轴迹;
- 13—向斜轴迹;
- 14—断层;
- 15—竖井。

图1 四道沟地质平面图 (据许民权 1988)

2 成矿温度及压力

四道沟金矿床其金属矿物组分很简单,90%以上为黄铁矿,很难用同位素及矿物共生组合等其它方法来取得测温数据。由于黄铁矿—石英—金三者的关系十分密切,因此利用石英中包裹体来获取该矿床的成矿温度就成了一个重要的测试手段。

从采集的 18 个有代表性的样品中,磨制了双面抛光的薄片,在显微镜冷热台上测试,其结果表明,该矿床成矿包裹体主要有两种类型一是气液两相包裹体,气液比为 5~25%,以椭圆形为主,其余为柱状、不规则状,无色透明,是主要测温对象;另一类是单相液态包裹体,多沿裂隙分布,为数较多,系由小包裹体成核困难所至,无法获得测温数据。根据气液两相包裹体的均一温度直方图获得 $T_h=100^{\circ}\text{C}\sim 310^{\circ}\text{C}$,如图 2,其峰值为 $180^{\circ}\text{C}\sim 240^{\circ}\text{C}$ 。因该矿床中 CO_2 包裹体较少,故只能用 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系计算压力,在此采用了不同密度的 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 溶液等容压力图解求得包裹体捕获压力为 400~550bar。并根据均一温度压力校正经验公式 $T_f=T_h+Kp$ 求得成矿捕获温度在 $190^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ 范围内。

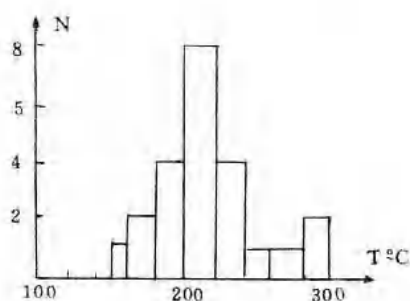


图 2 均一温度直方图

3 流体包裹体主要成分

通过 10 个石英单矿物的气液相成分测定,得出该矿床的气液相成分如表 1。

3.1 气相成分

该矿床气相成分基本由 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{H}_2-\text{N}_2-\text{CO}$ 组成,其中缺失 O_2 , CO 也较少见, CO_2 含量很高(H_2O 除外), $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ 占 98% 以上。其 $\text{CH}_4+\text{H}_2+\text{CO}/\text{CO}_2$ 的比值很低,表明金随 CO_2 的析出而沉淀下来富集成矿。

3.2 液相成分

液相成分中基本未见到 Br^- 和 NO_2^- , 而 Ca^{2+} 含量很高,其次为 Na^+ 和 Cl^- (如表 1)。 F^-/Cl^- 比值小于 1, 反应矿液来源为变质热液。 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 远大于 1, 说明 Ca^{2+} 在矿液中含量较高,可能由于矿液中的 Mg^{2+} 置换了围岩中的 Ca^{2+} 所致,使矿区的白云石化较普遍。推测溶液中还存在 H_2S , HS^- , S^{2-} , HSO_4^- 等含硫离子团,它们的浓度也直接影响着金的富集。

4 气体逸度

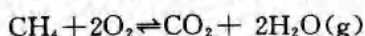
因为包裹体捕获时的温度压力环境与室内测试的环境有所差别,且成矿溶液处于平衡时的组分是多种类型的混合物,属非理想气体。所以,下面仅就两种主要的气体逸度进行计算来探讨其热力学性质。

表1 石英包裹体气液相成分

样品编号	H ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂ O	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
AQ-4-1	0.08	0.18	0.68	1.06	10.8	390	1.70	4.40	4.70	0.30	5.10	4.60	71.2	3.50
AQ105-2	0.20	0.23	0.65	1.09	11.1	248	1.20	3.10	微	0.50	8.00	2.50	8.00	2.50
AQ-4-3	0.58	0.05	1.05	微	294	1002	1.40	11.3	5.03	5.35	2.70	12.0	130	10.8
AQ-4-4	0.16	0.37	2.93	微	205	772	0.94	16.8	4.72	2.52	2.70	13.0	262	8.70
KQ-1-1	0.08	0.57	0.95	1.04	15.9	426	1.10	20.2	5.40	0.80	5.40	18.3	69.9	2.70
KQ-1-2	0.14	1.21	1.38	微	21.9	1220	0.80	29.0	5.00	0.50	3.70	29.5	71.6	1.85
KQ-2-1	0.11	0.43	0.71	1.08	24.6	724	1.60	15.1	5.70	1.40	8.60	13.1	109	4.30
CQ-4-1	0.11	0.51	0.92	1.20	17.7	800	2.20	17.0	5.00	3.40	5.00	14.7	85.2	3.60
CQ-4-2	0.09	0.34	0.85	1.03	21.0	844	1.80	6.90	5.00	4.80	8.20	9.30	59.9	2.60
BQ-4-1	0.80	1.21	0.61	1.02	13.0	1030	1.20	74.9	5.10	0.30	9.30	57.1	38.5	0.60

4.1 氧逸度(f_{O_2})

成矿流体的氧逸度是控制各种离子和离子团浓度的重要因素,因此计算氧逸度也是研究金矿成矿物理化学条件的重要参数之一。对四道沟金矿 10 个样品的包裹体成分的测试结果表明,气相中存在 CH₄ 和 CO₂,根据热力学原理,热液中应存在以下化学平衡



其平衡常数 $K = [CO_2] \cdot [H_2O]^2 / [CH_4] \cdot [O_2]^2 = f_{CO_2} \cdot [f_{H_2O}]^2 / f_{CH_4} \cdot [f_{O_2}]^2$

则 $\lg f_{O_2} = \lg P_{H_2O} + 0.5 \lg (P_{CO_2} / P_{CH_4}) + \lg R_{H_2O} + 0.5 (R_{CO_2} / R_{CH_4}) - 0.5 \lg K$ (1)

式中 P 为气体分压,其 P_{CO_2} / P_{CH_4} 可近似的用 X_{CO_2} / X_{CH_4} 的摩尔比来代替(X_i为测出的成分),R 为气体逸度系数,是温度和压力的含数,可查表(Ryzhenko 1977)获得,K 为平衡常数。其中 $\lg K = 41.83 \times 103/T$,设高温时 $f_{H_2O} = 1$,根据(1)式计算出不同温度下的 f_{O_2} 值如表 2。

表2 不同温度下 $\lg f_{O_2}$ 值

温度℃	150	200	250	300
$\lg f_{O_2}$	-44.4	-39.7	-34.8	-30.2

表3 FeS—FeS₂ 组合在不同温度下的 f_{S_2}

温度℃	150	200	250	300
$\lg f_{S_2}$	-17.7	-14.5	-12.9	-10.1

由表 2 可见,温度是控制氧逸度的重要因素,温度升高则 f_{O_2} 增大,而 X_{CO_2} / X_{CH_4} 对 f_{O_2} 的影响较小,因此可推测大量的成矿物质沉淀是在 f_{O_2} 减小的情况下发生的,该矿的 f_{O_2} 是在 $10^{-30.2} \sim 10^{-44.6}$ 之间。

4.2 硫逸度(f_{S_2})

其计算方法与 f_{O_2} 的计算方法基本类似。在本区通过薄片及光片的观察,未见到自然铁和自然硫,只有少量的磁黄铁矿与黄铁矿共生。因此,在自然成矿条件下, $FeS-FeS_2$ 矿物组合控制了 f_{S_2} ,所以可据下列化学平衡:



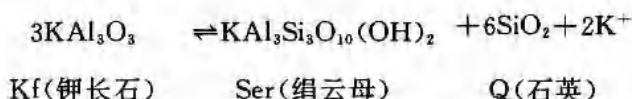
来计算不同温度下的 f_{S_2} 值如表 3。

由于四道沟金矿含矿物组合中黄铁矿占 90% 以上,而磁黄铁矿只有 1.5~2% 左右与黄铁矿共生,且绝大部分金赋存于黄铁矿中。因而当硫化物金属矿物组合含有黄铁矿而无磁黄铁矿时, f_{S_2} 值较高,当黄铁矿与磁黄铁矿共生时,才反映实际成矿的 f_{S_2} 值。

5 成矿流体的酸碱度与金离子、络合物的活度

5.1 成矿流体的酸碱度(pH)

由于该矿床中包裹体液相成分的测试所采用的载液为 Na_2CO_3 与 $NaHCO_3$ 的混合液,因此不能测出 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的成分,故而不能用 $CO_2 + H_2O = H^+ + HCO_3^-$ 这一化学平衡式来计算成矿溶液的 pH 值。但该矿床的容矿围岩普遍产生绢云母化和硅化,因而流体中必然存在钾长石、石英、绢云母的平衡反应:



由此,可根据校正的成矿温度和液相成分分析的 KCl 浓度资料用下列公式来计算成矿流体的 pH 值:

$$pH = 0.5 \lg K - \lg a_{K^+} - 0.5 \lg (a_{Ser} \cdot a_Q^6 / a_{Kf}^3)$$

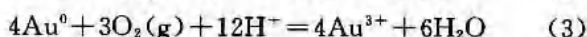
其中 K 为平衡常数,固相组分活度为 1, a_{K^+} 活度参照吴兴华资料,计算结果如表 4。

5.2 金离子的活度

金常见于下列三种氧化态中, Au^0 (自然金)、 Au^+ (一价金)、 Au^{3+} (三价金),至于 Au^{2+} , Au^{5+} (二、五价金) 两种氧化态也发现存

在于某些复杂的结构中。但似乎都相对不稳定,可能存在于某些富含有机质或富含氯化物的天然水里。本文只对 Au^+ 和 Au^{3+} 来计算该矿区的活度。一般来说,其相对活度取决于溶液的酸碱度,氧化还原电位及水溶液类型等。

根据下列平衡式: $4Au^0 + O_2(g) + 4H^+ = 4Au^+ + 2H_2O$ (2)



计算出 a_{Au^+} 和 $a_{Au^{3+}}$ 的值如表 5。其中 f_{O_2} 已算出, a_{H^+} 参照资料, $\lg K_{(2)}$, $\lg K_{(3)}$ 为平衡常数

表 4 不同温度下成矿流体的 pH 值

温度℃	150	200	250	300
pH	4.5	4.1	3.9	3.7

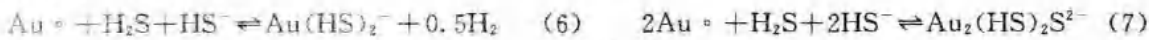
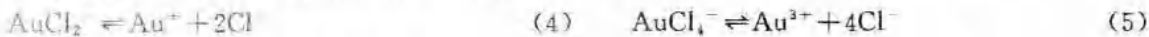
的对数值。由表中可知, Au^+ 要比 Au^{3+} 的浓度高得多。

表 5 不同温度下 a_{Au^+} 及 $a_{\text{Au}^{3+}}$ 数值

温度/℃	150	200	250	300
$\lg K_{(2)}$	-4.38	-3.86	-3.37	-3.17
$\lg K_{(3)}$	-11.70	-11.38	-11.05	-10.84
$\lg a_{\text{Au}^+}$	-21.54	-18.16	-17.24	-16.53
$\lg a_{\text{Au}^{3+}}$	-59.20	-56.28	-51.40	-47.73

5.3 金络合物的活度

由该矿床流体包裹体中的成分分析, 其金可能多以 $[\text{AuCl}_2]^-$, $\text{Au}[\text{HS}]_2^-$ 以及 $\text{Au}^{2+}(\text{HS})_2\text{S}^{2-}$ 等络合物进行迁移。本文只就 $[\text{AuCl}_2]^-$, $[\text{AuCl}_4]^-$ 及 $[\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}]^{2-}$ 几种主要络合物的活度加以探讨。根据以下四个平衡式:



来计算 $a_{\text{AuCl}_2^-}$, $a_{\text{AuCl}_4^-}$, $a_{\text{Au}(\text{HS})_2^-}$ 及 $a_{\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}}$ 的活度值如表 6 所示。

表 6 不同温度下几种金络合物的活度值

温度/℃	150	200	250	300
$\lg a_{\text{AuCl}_2^-}$	-14.8	-13.26	-12.37	-11.66
$\lg a_{\text{AuCl}_4^-}$	-41.24	-38.71	-35.23	-32.58
$\lg a_{\text{Au}(\text{HS})_2^-}$	-11.04	-9.52	-7.93	-6.04
$\lg a_{\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}}$	-18.35	-16.54	-13.92	-11.27

由此看出, $a_{\text{AuCl}_2^-}$ 要比 $a_{\text{AuCl}_4^-}$ 高得多, 这与表 5 中计算的 a_{Au^+} 远大于 $a_{\text{Au}^{3+}}$ 有直接关系, 而 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 的活度值则较大, 很可能说明金的氯化物络合物其溶解度远小于 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 络合物。

6 结 论

(1) 四道沟金矿床的主要成矿温度为 190℃~300℃ 之间, 根据 F^-/Cl^- 和 Na^+/K^+ 比值, 推测其热液主要来源于变质热液;

(2) 成矿的 f_{O_2} 为 $10^{-29.2} \sim 10^{-44.6}$, f_{S_2} 为 $10^{-10.1} \sim 10^{-17.7}$, 表明大量矿质沉淀基本上是在 f_{O_2} 减小的情况下发生的, $\text{FeS}-\text{FeS}_2$ 矿物组合控制了 f_{S_2} ;

(3) 络合物中以 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 的活度值最大, 是金的主要搬运形式, 它的离解程度、规模影响了金矿石品位的高低;

(4) 成矿 $\text{PH}=3.7 \sim 4.5$, 即成矿溶液偏酸性, 其成矿流体为富 Ca^{2+} , Cl^- 低 K^+ , Mg^{2+} 的弱碱性——硫化物——重碳酸盐溶液。

辽宁四道沟金矿床的迭加褶曲构造

肖成信

(构造教研室)

辽宁四道沟金矿床开采二十多年来,所揭露的地质情况异常复杂,先后有不少人作过许多工作,并提出了许多看法。综合起来,对矿床成因先后有①岩浆热液观点;②盖县组中下部层控观点;③变质热液观点④混合岩化观点及⑤破碎带交代蚀变岩型观点。对于成矿时代先后有①早元古代;②中生代;③晚古生代及④几个成矿时代迭加等观点。对于控矿构造先后有①鸭绿江断裂(脆性断裂)控矿;②褶曲控矿;③韧性剪切带控矿等观点。这些认识对本区的地质研究起到了一定的推动作用,但是,该区的地质遗留问题仍然很多,其中最主要的就是构造问题。在近几年对辽宁四道沟金矿床的地质研究工作中认识到,本区的构造虽然复杂,但从变形机制或形成时代看,却只有三种类型两个旋回的构造型式。搞清它们的变形规律及叠加关系,有助于对本区地质情况的全面认识。仅就早期旋回的构造作些探讨。

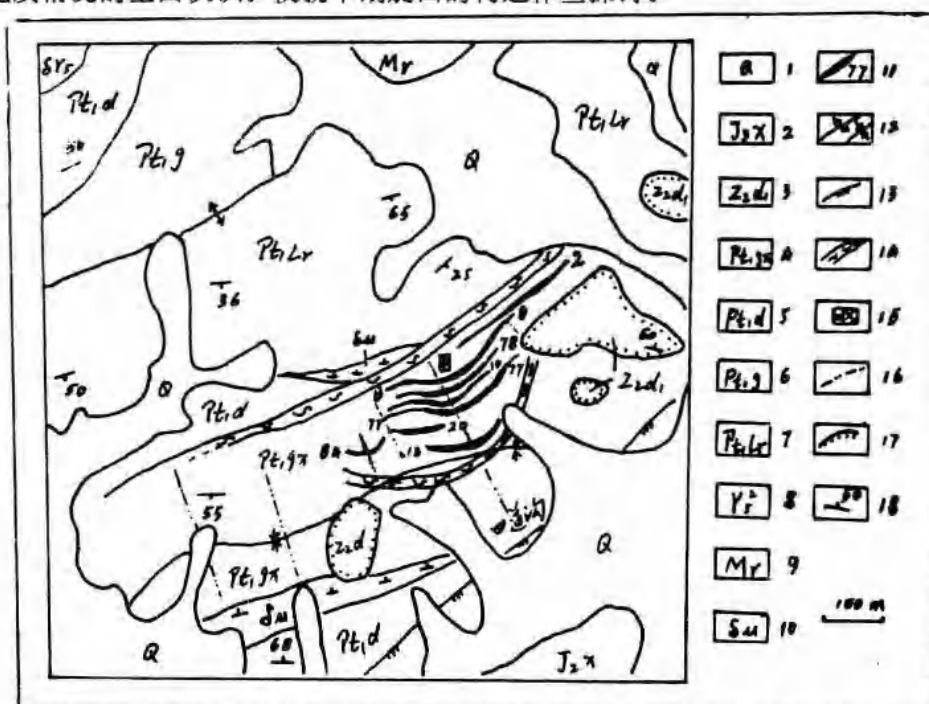


图1 四道沟金矿区地质图

1—第四系;2—侏罗系小东沟组;3—震旦系钓鱼台组;4—辽河群盖县组;5—辽河群大石桥组;6—辽河群高家峪组;7—辽河群里尔峪组;8—燕山期花岗岩闪长岩体;9—早前寒武纪混合花岗岩;10—中生代闪长岩脉;11—矿化带及编号;12—第一期褶曲轴迹;13—脆性断裂;14—脆韧性剪切带;15—竖井;16—第二期褶曲轴迹;17—不整合界线;18—岩层产状符号