

金矿床, 成矿模式, 构造成矿, 成矿类型

③

卷(Volume)23, 期(Number)1, 总(SUM)79  
页(Pages)16~28, 1999, 3(Mar., 1999)

阿尔泰山

大地构造与成矿学

Geotectonica et Metallogenia

p618.5/0.5

16-28

# 阿尔泰山南缘两类构造成矿类型 金矿床及其成矿模式\*

李志纯

(中国科学院长沙大地构造研究所, 长沙 410013)

**摘要** 阿尔泰山南缘的金矿床可归为“构造破碎带型”和“构造接触带型”两大类。分别从区域地质、矿床地质、地层和岩体的含金性、稳定同位素(Pb、H、O)和气-液包体等方面综合分析金的成矿作用过程及成矿模式。

**关键词** 构造破碎带型 构造接触带型 稳定同位素 气-液包体 构造成矿过程

## 0 引言

“阿尔泰”系哈萨克语“金”之音译。古往今来,沿阿尔泰山区沟谷冲积层和山前坡-洪积裙淘沙取金活动如潮,经久不衰。可见,阿尔泰造山带内金的蕴藏量丰富,找矿潜力极大。随着“七五”、“八五”三〇五项目的开展,红山嘴金矿点和多拉纳赛依金矿床的发现,真正拉开了在阿尔泰山寻找岩金矿床的序幕。一批有工业意义的金矿床(点),如萨尔布拉克金矿床、赛都金矿床、恰奔布拉克金矿床、阿拉那提金矿点和柯克萨依金矿床相继被揭露出来。同时发现的还有南邻萨吾尔山的布尔克斯岱和阔真尔可腊金矿床。这些矿床(点)的分布及与区域构造线的位置关系如图1所示。

从图1可看出,北疆阿尔泰地区已揭露具工业意义的金矿床都分布在阿尔泰山南缘,具体地分布在额尔齐斯深断裂的南侧(多拉纳赛依、赛都、恰奔布拉克、萨尔布拉克、柯克萨依、阿拉那提等金矿床)。在笔者编制的《额尔齐斯构造带矿产分布及成矿规律图》[1996,李志纯]上,这些金矿床分别处于(卡尔巴—)萨乌尔—准噶尔铜—金构造成矿带所属的(卡利季尔—)布尔津铜—金构造成矿亚带(多拉纳赛依、赛都和恰奔布拉克等金矿床属之)和扎河坝—阿尔曼泰金—铜—镍构造成矿亚带(萨尔布拉克、阿拉那提和柯克萨依等金矿床属之)内。

在考察和研究阿尔泰山南缘上述金矿床(点)后认识到,构造对这些金矿床的形成起了主导作用。在分析其区域地质背景和矿床地质特征的基础上,从构造成矿学角度出发,这些金矿

\* 本文受国家自然科学基金(项目号:49872039)和“九五”国家攻关 96-915 项目(专题号:96-915-02-01)的资助  
李志纯,男,1944年生,博士,研究员,主要从事构造成矿学研究  
1998年10月20日收稿,12月5日改回

床可以分别归入笔者划分的 5 类构造成矿类型 [1994, 张湘炳、李志纯等] 中的构造破碎带型和构造接触带型之中:

构造破碎带型——萨尔布拉克金矿床、阿拉那提金矿床、柯克萨依金矿床;

构造接触带型——多拉纳赛依金矿床、赛都金矿床。

### 1 阿尔泰山南缘的构造破碎带型金矿床

金受到由地幔传导的构造热动力场驱动, 从矿源层活化、迁移富集于构造破碎带而形成的金矿床, 称为构造破碎带型金矿床。该型金矿床具如下特征: ①有成矿作用的物质基础——金的矿源层存在; ②与区域岩浆岩构造地质体没有成因上的联系; ③矿床和矿体受褶皱构造和断裂构造综合控制; ④矿石中的矿石矿物组成非常简单。

萨尔布拉克金矿床、阿拉那提金矿床和柯克萨依金矿床分别位于富蕴县城南西西 30 km 处、青河县城南南东 50 km 处和青河县城南 60 km 处, 均属构造破碎带型金矿床。这 3 个矿床同夹于额尔齐斯深断裂和斋桑—阿尔曼泰蛇绿岩带之间, 近靠于额尔齐斯深断裂南侧(图 1),

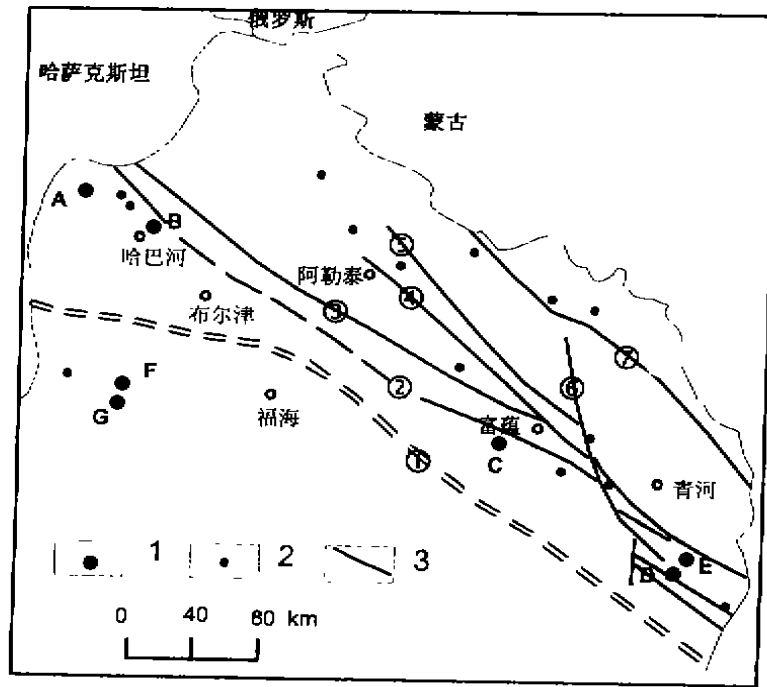


图 1 北疆阿尔泰山及其南侧金矿床(点)分布图

1-金矿床; 2-金矿点; 3-区域性断裂; A-多拉纳赛依金矿床; B-赛都金矿床; C-萨尔布拉克金矿床; D-柯克萨依金矿床; E-阿拉那提金矿点; F-布尔克斯岱金矿床; G-阔真尔可腊金矿床; ①-哈萨克斯坦—准噶尔次生壳体和西伯利亚次生壳体的接合线(斋桑—阿尔曼泰蛇绿岩带); ②-额尔齐斯深断裂; ③-特斯巴汗大断裂; ④-阿巴官—库尔提大断裂; ⑤-巴塞大断裂; ⑥-可可托海—二台走滑断裂; ⑦-库热克特大断裂

Fig. 1 Distribution of the gold deposits (spots) in both the southern Altai Mountain and the areas to the south of the mountain in northern Xinjiang

系地壳演化中处于长时间活动并受上地幔热动力流影响强烈的地区。可知,在地槽造山过程中,哈萨克斯坦—准噶尔次生壳体朝西伯利亚次生壳体碰撞—俯冲及随之而来的额尔齐斯推覆体南西向强烈冲断—滑脱—推覆和右型走滑,使 3 个矿床所处地带受到首当其冲的强烈挤压和剪切,应当出现过长时间递进式的改造(构造变形)和建造(变质建造和成矿建造)强烈进行的动力学过程。野外中所见的强烈挤压—剪切、变质带、混合岩化—花岗岩化带、各序级的冲断裂和倒转褶皱等地质现象,都呈现在考察者的面前。

### 1.1 构造破碎带型萨尔布拉克金矿床

矿区及其外围分布的地层为中泥盆统和下石炭统火山—沉积建造,曾受到强烈的区域动力变质。矿床北东约 4 km 处,有北西向延伸的额尔齐斯深断裂通过,为一条在前寒武纪时形成剪裂面、奥陶纪时成为雏型深断裂和在泥盆纪开始朝 SW 向强烈滑脱—冲断的深断裂。由于受该深断裂的影响,区内发育一系列各序级的冲断层,并使泥盆—石炭系发生强烈构造变形,出现倒转背斜(图 2)。

矿床域内除有一些岩脉出现外,基本无岩浆活动。岩浆岩出露在 NE 9 km 处(海西中期片麻状黑云母花岗岩)和 SW 6 km 处(海西中期闪长岩类)。岩体距矿床较远(>2 km),因此,认为与萨尔布拉克金矿床的金成矿活动没有直接的成因联系。

萨尔布拉克金矿床的各矿体均赋存在 NW 轴向倒转背斜翼部走向断裂破碎带或层间断裂破碎带中,尤以北东翼断裂破碎带内的矿化最好。断裂破碎带向 NE 倾,与矿区内发育的各序级冲断裂产状一致。显然,断裂破碎带的形成与额尔齐斯冲断深断裂的形成密切相关。目前已揭露的几个矿体在平面上呈左型雁列式排列,这种排列方式,显然与冲断—推覆造山过程中出现的右型走滑剪切运动有关。

矿体均赋存在下石炭统南明水组中,为一套海相火山—沉积建造,主要由岩屑晶屑凝灰岩、凝灰质砂岩和金红石板岩组成。显然,这套岩石组合反映了成岩过程由浅海—滨海的过渡环境。

含矿破碎带实际上为压张性断裂,断裂面呈舒缓波状,经过了多次压→张的历程。含矿破碎带内的分带性很明显,宽仅 10~30 m 的破碎带,可分出含石英脉矿化碎裂岩带、糜棱岩带和断层泥带。

矿体中的矿石矿物组分简单,以毒砂和黄铁矿(近地表多氧化成褐铁矿)为主。含微量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿等硫化矿物。偶见磁黄铁矿和硫锑铅矿。金的载体矿物以毒砂为主,次为黄铁矿。主要呈粒间金、裂隙金和吸附金存在于毒砂和黄铁矿的微裂隙和晶粒间。含金毒砂多呈柱状分散于凝灰质砂岩中,晶体形成后尚受到挤压拉断,晶体边部有绢云母和滑石聚集,

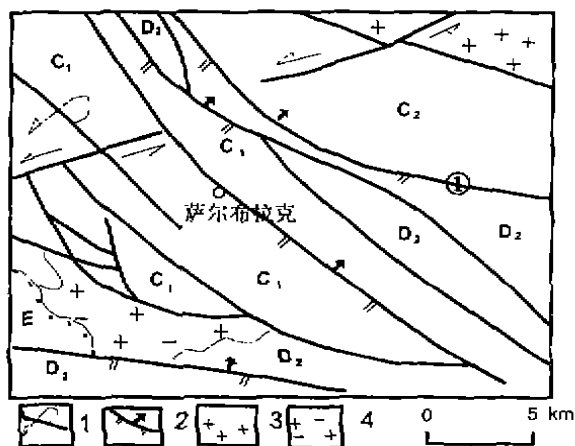


图 2 萨尔布拉克金矿床区域地质图

1-倒转背斜;2-冲断层;3-海西中期片麻状黑云母花岗岩;  
4-海西中期闪长岩类;①-额尔齐斯深断裂

Fig. 2 Geological map of the Sabulark gold deposit

是成晶时排水生成的含水矿物。亦出现含金毒砂被石英、绢云母和滑石所溶蚀的现象。

矿床(体)围岩蚀变以成矿期的硅化和黄铁绢英岩化为主,绢云母—滑石化次之。走向断裂破碎带(包括层间破碎带)、破碎带内的次级分带性、矿体的左型雁列和简单的含金硫化物等,是萨尔布拉克破碎带型金矿床的重要矿床地质特征。

### 1.2 构造破碎带型阿拉那提金矿床

矿床位于青格里河及其支流查干高勒河交汇处东约 10 km。矿区地层为中泥盆统,系火山—沉积建造组合。受区域动力变质强烈,多已蚀变为含辉石绿泥石岩和绿泥石化辉石化安山斑岩。

矿床 NE 10 km 左右处为玛因鄂博断裂,该断裂系额尔齐斯深断裂的 SE 部分,被可可托海—二台走滑断裂右行走滑南移。矿床夹于这两条区域性断裂之间,曾受到强烈冲断—滑脱—推覆造山运动和走滑剪切等动力作用的影响,各序次的 NW 向冲断裂和倒转背斜为矿点的主要构造格架。

矿体产于倒转背斜 NE 翼,为层间破碎带内一条厚 40~160 cm、走向延伸 1.5 km 的含金石英脉。沿民隆穿脉观察,含金石英脉的分带性极好,可分出纯净石英脉带、含黄铜矿碎裂石英岩带、石英—黄铁矿带和断层泥带(图 3)。

由于人工露头较好,可作如下分析:NE—SW 向挤压形成倒转背斜过程中,层间剪切滑脱出现顺层断层,松弛阶段有流体进入沉淀石英脉,随后多次的剪—张的活动,石英脉上、下部分碎裂,断层泥增厚,含金黄铜矿和含金黄铁矿主要在碎裂部分富集。

### 1.3 构造破碎带型柯克萨依金矿床

矿床位于青格里河及其支流布尔根河交汇处的青格里河西岸旁。NE 距玛因鄂博深断裂(额尔齐斯深断裂 SE 右行走滑段)25 km,并被夹于可可托海—二台走滑断裂的 SE 帚状分支断裂系中。其中的一条 NW 向区域性断裂(克孜勒卡拉依巴斯他乌断裂)在矿区通过。矿区内出露的下泥盆统火山—沉积建造,为流纹岩、千枚岩、泥质砂岩和石英—绢云母片岩组合,构造变形后形成轴向 100° 的背斜。地层普遍劈理化和片理化。沿轴部发育断裂破碎带,呈左型雁列分布。

矿床 NW 5 km 处有海西晚期花岗闪长岩岩株出露,与矿床成矿关系不大。矿床近旁虽有闪长岩小岩脉出露,但仔细观察,有穿切矿脉之势,为金成矿后期岩脉。

现揭露的主矿脉即产于背斜轴部断裂破碎带中,可分出 3 个矿体。每个矿体实际又是由

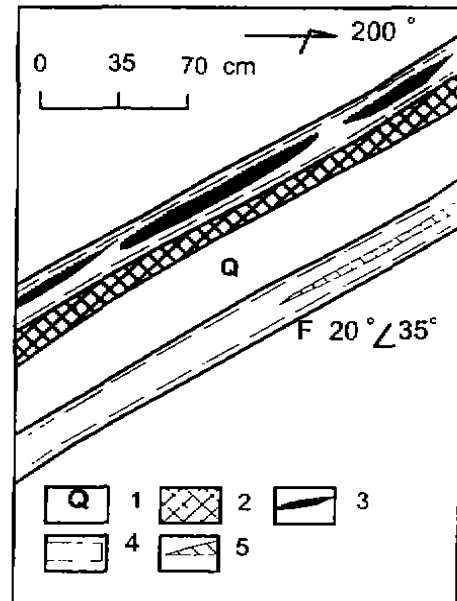


图 3 阿拉那提金矿层间破碎带中的带状分布素描图  
1—纯石英脉带;2—含黄铜矿碎裂石英岩带;3—石英黄铁矿条带;4—断层泥带;5—沿裂隙贯入的第二期石英细脉

Fig.3 Sketch of zonal distribution in the interlayer fracture zone of the Alanati gold deposit

几个更小的左型雁列矿体组成(图 4)。可知,区域性的右型走滑造成了柯克萨依金矿床的矿带和矿体左型雁列格式。

含矿断裂破碎带内的断裂面呈舒缓波状,总体产状  $210^{\circ} \angle 63^{\circ}$ ,擦痕角 NW  $25^{\circ}$ 。带内的次级分带亦十分清晰,可分出含金碎裂石英岩带、片理化带和断层泥带。

矿体内的矿石矿物简单,以含金黄铜矿和含金黄铁矿为主,金的载体矿物除黄铜矿和黄铁矿外,还有石英。

上述三个金矿床(点),具有一些共同的成矿特征:①成矿与岩浆岩体无关,矿质是从矿源层迁移富集而来;②矿体受褶皱和断裂联合控制;③矿石中的矿石矿物组合很简单。这都是构造破碎带型金矿床所表现的典型特征。

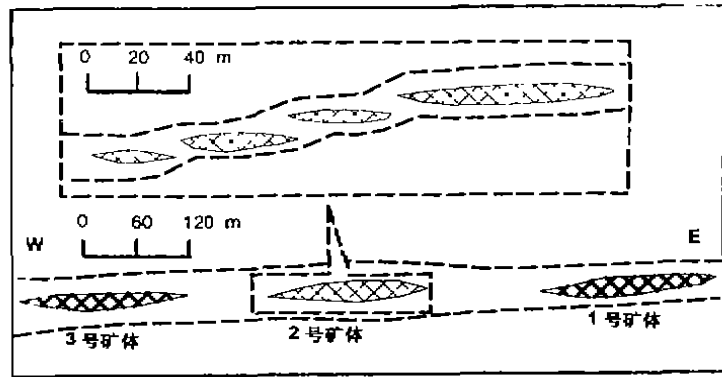


图 4 柯克萨依金矿床主矿带矿体分布型式素描图  
Fig. 4 Sketch of the distribution of ore bodies in the main ore belt of the Coksaïy gold deposit

## 2 阿尔泰山南缘的构造接触带型金矿床

分布于中型构造地质体的接触带并与该构造地质体有成因联系的金矿床,划为构造接触带型金矿床。

阿尔泰山南缘的多拉纳赛依金矿床和赛都金矿床,还有恰奔布拉克金矿床等,均为典型的构造接触带型金矿床。这几个矿床同处于(卡尔巴—)萨乌尔—准葛尔铜—金构造成矿带所属的(卡利季尔—)布尔津铜—金构造成矿亚带之中,有几个显明的共同点:①都居于花岗岩体(海西中期斜长花岗岩)接触带上;②都有比斜长花岗岩稍后的闪长岩定位,并均受到高强度矿化;③北侧有深断裂——额尔齐斯断裂通过(图 5)。这几点都是构造接触带型金矿床的典型特征。

### 2.1 构造接触带型多拉纳赛依金矿床

多拉纳赛依金矿床位于额尔齐斯深断裂 SW 侧,NE 向距离 7 km。是地槽阶段俯冲→滑脱→冲断→推覆造山过程中受到强烈构造挤压的地区。

区内出露地层以中泥盆统托克萨雷组为主(北西部尚有上泥盆统分布),由下段长石石英砂岩、中段灰岩(多已大理岩化)和上段千枚岩—板岩—硅质岩组合构成。可能由于花岗岩侵位上隆应力而形成轴向近 SN 的托克萨雷主体背斜,其东则是阿克萨依向斜。区内出现两次海西中期的岩浆活动。第一次形成三个斜长花岗岩岩体(2 个岩株、1 个岩基,图 5),其定位时间与阿尔泰山地槽造山的时间吻合,显属强烈挤压—滑脱—冲断—推覆造山过程中所产生强大热动力流使地槽构造层局部重熔而出现的构造岩浆热事件。第二次岩浆活动形成石英闪长岩

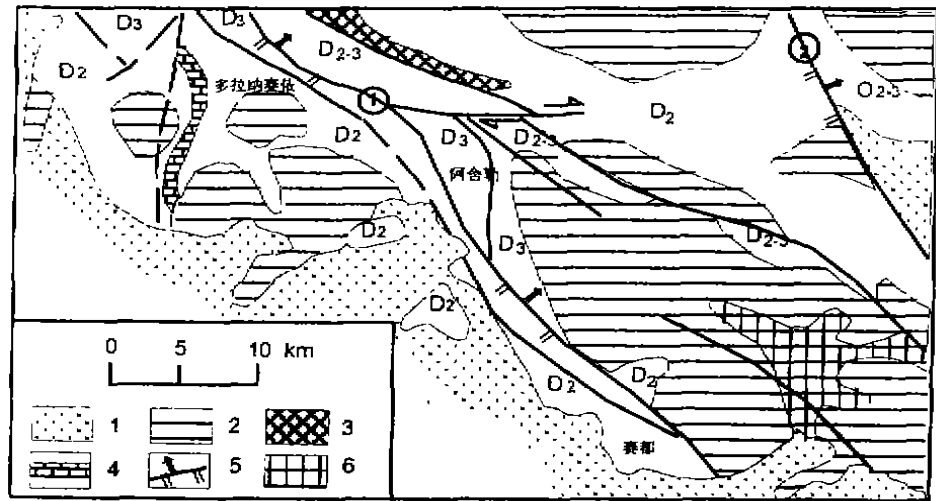


图 5 多拉纳赛依—赛都地区区域地质图

1-第四系;2-海西中期斜长花岗岩;3-海西中期辉长辉绿岩;4-灰岩;5-冲断裂;6-海西中期闪长岩;  
①-额尔齐斯深断裂玛尔卡库里段;②-东北断裂萨热朔克段

Fig. 5 Geological map of the areas including both the Dolanasaï and the Saidu gold deposit

脉,系幔-壳同熔岩浆上侵出现的构造岩浆热事件。

目前已揭露由 5 个矿体组成的 I 号矿床位于阿克萨依向斜东翼。矿体由侵入于层间破碎带的石英闪长岩矿化部分组成,局部围岩亦出现含金石英脉矿化现象。矿体分布于三个斜长花岗岩之间,实际上这三个岩体在深部可能是接合在一起的大型岩基。对于斜长花岗岩而言,矿体赋存在外接触带;对于含矿石英闪长岩本身来说,矿体是赋存于内接触带。接触带围岩主要出现砂卡岩化、黄铁矿化和硅化等蚀变。

矿化石英闪长岩内的含矿石英脉发育,多沿其内的追踪裂隙充填产出。矿化石英闪长岩脉沿破裂带进入时,使两旁围岩破碎和糜棱岩化,呈带状排列(图6)。

矿体中的矿石矿物种类较多,以黄铁矿为主,还有磁黄铁矿、磁铁矿、白钨矿、黄铜矿、斑铜矿、钛铁矿和辉钨矿,这套矿石矿物组合显由岩浆热液形成。金以自然金形式主要存在于黄铁矿和石英的晶粒间和裂隙中。

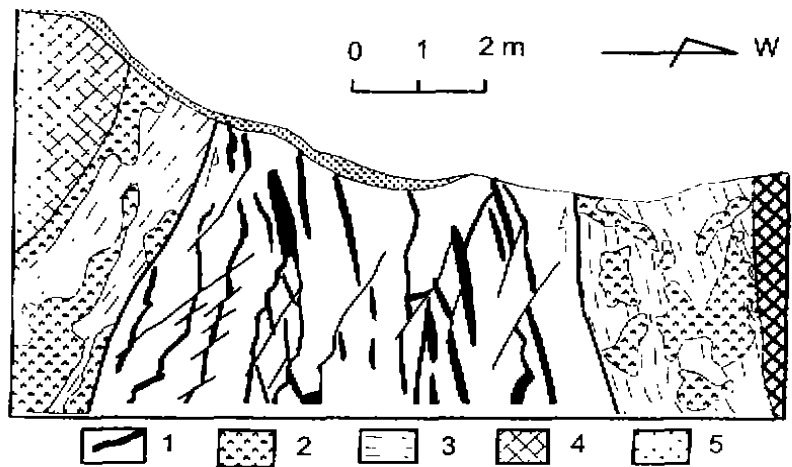


图 6 多拉纳赛依 1 号矿体掌子面素描图

1-含金石英闪长岩及其内的含金石英脉;2-碎裂岩块;  
3-碳-泥质挤压层;4-糜棱岩化带;5-地表风化层

Fig. 6 Sketch of a heading face of the No. 1 ore body in the Dolanasaï gold deposit

## 2.2 构造接触带型赛都金矿床

如图 5 所示,赛都金矿床的区域地质背景与多拉纳赛依金矿床基本一致。亦处于额尔齐斯深断裂的 SW 侧(更接近);处于海西中期斜长花岗岩体(哈巴河岩体)仅数百米的外接触带中,同是在地槽造山运动中受到强烈挤压和构造变形的地区。

矿区出露中泥盆统地层,由砂岩、含砾砂岩、凝灰质砂岩、千枚岩和硅质灰岩所组成,其内闪长岩脉和石英脉发育。

矿床由一条 NW 向断裂挤压带控制达 12 km,内有多条呈左型雁列的矿化破碎带,破碎带边部断裂波状面清晰,出现擦痕和正阶步;破碎带宽度一般 10~30 m,其内含金石英脉发育,糜棱岩、碎裂岩和石英脉富集的分带性很强。

矿体围岩蚀变以硅化、砂卡岩化和黄铁矿化为主。矿体内的石英脉、帘石化闪长岩和千枚岩的含金品位均高。金主要以自然金存在于黄铁矿和石英的粒间和裂隙中。矿石矿物种类较多,除黄铁矿外,尚有磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿和微量方铅矿、碲铋铅矿。

综上所述,多拉纳赛依金矿床和赛都金矿床有几个共同的特点:①都赋存在花岗岩体的接触带上;②均有比主体花岗岩稍后的闪长岩类复式侵入;③均具有岩浆热液矿床的矿石矿物组合;④都处于额尔齐斯深断裂的一侧。

## 3 金矿床的构造成矿信息分析

从地层和岩体的含金性、稳定同位素(Pb、H、O)分析和包体研究诸方面来揭示阿尔泰山南缘两类不同构造成矿类型金矿床的构造成矿信息。

### 3.1 地层的含金性

阿尔泰山南缘的上述几个金矿床,分别赋存在泥盆系(阿拉那提、柯克萨依)和石炭系(萨尔布拉克)火山-沉积建造中。要了解这套建造的含金性,即原有的背景含量,是一个十分困难的事情。因为矿床所在地区,处于挤压-冲断-推覆造山过程强烈挤压地段,各成矿元素都会出现较大程度的迁移,在南缘任何地区都会如此,无法获得原有真实的区域背景含量。但这个工作仍必须做。笔者在柯克萨依金矿区以北 20 多 km 并远离花岗岩体的泥盆系内进行实测剖面采样 63 个进行金元素定量测试,剔除  $10^{-9}$  级百位以上高含量样品 4 个,实为 59 个样品,所计算的 Au 丰度值,富集系数和变异系数列于表 1 中。

表 1 科克萨依金矿床外围泥盆系金丰度( $\times 10^{-9}$ )

Table 1 Au abundance of the Devonian in the area around the Cokesai gold deposit

丰度	富集系数	变异系数	地壳丰度(泰勒,1964)
29	7.25	3.58	4

在“地质体较广的范围内排除其它地质体干扰,元素迁出量和富集量基本不变”的前提下消去高含量值,所得的丰度值应比背景值更低。这样,从表 1 中可看出,阿尔泰山南缘泥盆系 Au 的丰度为泰勒地壳丰度的 7.25 倍,是金的高丰度地层;在外围泥盆系中,Au 的变异系数也远远>1(为 3.58),说明阿尔泰山南缘这个地槽造山运动中曾强烈活动的地区,矿区外围 Au 元素

也出现过强烈的活化转移。

从科克萨依矿区所测的剖面中可看出, Au、Ag、Cu、和 As 等 4 个元素都曾发生了从远矿地段向矿化体迁移富集的活动(图 7)。

因此可以认为, 阿尔泰山南缘的泥盆—石炭纪火山—沉积建造是构造破碎带型金矿床的矿源层。

### 3.2 花岗岩岩体的含金性

哈巴河岩体(海西中期斜长花岗岩)SW 部分与赛都金矿区接触, 相距该矿床仅数百米。对赛都金矿的成矿贡献如何? 笔者进行了 NE 向路线剖面穿越, 发现岩体内的闪长岩脉极为发育, 密集处呈左型雁列式排列。闪长岩脉走向在  $320^{\circ} \sim 330^{\circ}$  之间, 宽 3 ~ 10 m, 延长在 80 ~ 250 m 的范围。在 1:20 万区测矿产图和 1:10 万遥感矿产图上, 岩体内闪长岩脉密集发育处, 圈出了金异常 10 多处。而矿体内的闪长岩脉, 金含量大都超过工业品位。从而可认为, 稍后于哈巴河主岩体产出的海西中期闪长岩脉可能是将金从深部带出的母岩。多拉纳赛依金矿(图 6)和恰奔布拉克的矿体就直接是闪长岩脉, 可得佐证。

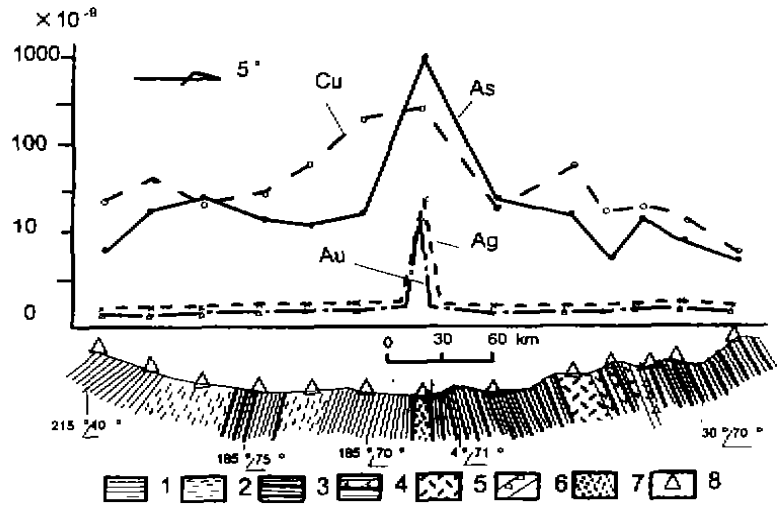


图 7 科克萨依金矿区矿化元素含量变化图  
 1-片岩;2-千枚岩;3-板岩;4-硅质板岩;5-安山质凝灰岩;  
 6-破碎带;7-含金矿体;8-样品点  
 Fig. 7 Content variation of the mineralized elements  
 in the Coksaiy mineral district

表 2 几个岩体的金含量( $\times 10^{-9}$ )和特征值比较

Table 2 Au abundance of some rock bodies and the comparison of their signature values

岩体	丰度	富集系数	变异系数	样品数
哈巴河边缘相	2.13	0.47	1.82	6
哈巴河内部相	0.95	0.21	0.23	8
克因布拉克	0.66	0.15	0.02	6
喇麻昭	0.90	0.20	0.37	10
塔拉特	0.68	0.15	0.38	10
维氏花岗岩(1962)	4.5			

从表 2 可以看出: ①阿尔泰山南缘的几个花岗岩的含金量都很低, 都未达到维氏丰度的 50%, 是贫金花岗岩体; ②哈巴河岩体相对于其它几个岩体, 具有较高的含金量; ③哈巴河岩体金的变异系数远大于 1(1.82), 揭示出该岩体微含量金曾发生过强烈的活化迁移。这不能不认为, 在闪长岩脉形成时, 哈巴河岩体的金有向其迁移的现象, 即闪长岩脉的形成是慢源物和

哈巴河岩体同熔的结果。

### 3.3 稳定同位素示踪

#### 3.1.1 铅同位素组成分析

由于很难获得金属矿物样品,仅测试了两个样品的铅同位素组成(表 3)。

表 3 铅同位素组成及正常铅模式年龄

Table 3 Composition of Pb isotope and model-lead age

构造成矿类型	矿床	测试矿物	铅同位素组成			三种方法计算的模 式年龄平均值(Ma)
			$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
构造破碎带型	科克萨依	含金黄铁矿	18.110	15.431	37.568	370
构造接触带型	赛都	含金黄铁矿	18.478	15.778	38.721	327

铅同位素组成及正常铅模式年龄揭示了如下信息:

① 含金黄铁矿是从深部源富集并与火成活动紧密相关;

② 正常铅模式年龄不是成矿年龄。仅能大概反映出,在晚古生代时,含金黄铁矿内的铅质才从U-Th-Pb体系中分离出来,间接说明含金黄铁矿从深部源带出的大概时间。

在图 8 中,科克萨依金矿样品靠近 A 点(地幔);赛都金矿样品点稍靠近 B 点(造山带),并处于上地壳和下地壳之间。这可能说明了构造破碎带金矿床的矿质来源于上地幔;而构造接触带金矿床的矿质主要是在造山作用中通过深部同熔而获得。

#### 3.3.2 氢、氧同位素组成分析

水是成矿流体的主要部分,不同来源的水,具有不同氢同位素组成(D/H)和氧同位素组成( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )。利用氢、氧同位素组成可以较好地判别成矿流体的成因。

对阿尔泰南缘金矿床(点)的 11 个含金脉石英样品做了氢、氧同位素组成的测定。测定的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$  值,采用“石英-水氧同位素平衡交换的经验分馏方程”

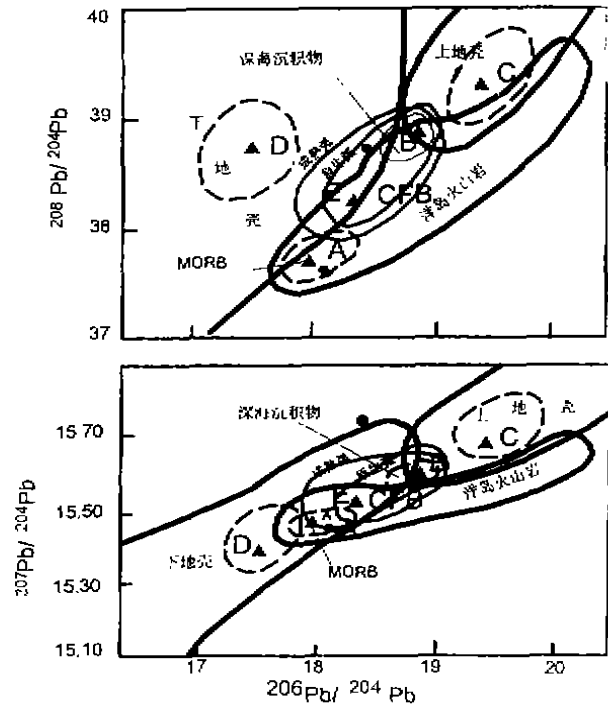


图 8 金矿床铅同位素坐标图

(据 Zartman R. E., 1984)

实线-源区界线;虚线-源区可能平均值界线;

黑三角点-“铅构造模式”中铅同位素成分投影点

(A-地幔;B-造山带;C-上地壳;D-下地壳;E-壳下岩石圈)

Fig. 8 Coordinate of Pb isotope in some gold deposits

[1985,张理刚]进行计算,获得含金脉石英包裹体水的  $\delta^{18}O_w$ ,其成果列于表 4 中。

表 4 阿尔泰山南缘金矿床氢、氧同位素组成

Table 4 Composition of H and O isotope of gold deposits in the southern Altai Mountain

构造成矿类型	矿床	样号	$\delta D(\text{‰})$	$\delta^{18}O_{\text{石英}}(\text{‰})$	T(K)	$\delta^{18}O_w(\text{‰})$
构造接触带型	多拉纳赛依	XY93-67	-94.626	17.764	425	1.69
		XY93-68	-98.585	15.275	425	-0.80
	赛都	At1152	-92.974	11.917	562	3.95
构造破碎带型	萨尔布拉克	At1021	-94.259	15.467	445	1.06
	科克萨依	At1114	-109.382	12.482	450	-1.55
		At1116	-103.67	15.79	437	0.74
		At1054	-95.584	13.598	425	-2.48
	阿拉那提	At1056	-86.008	13.04	431	-2.51
	克孜勒他乌	At1080	-99.718	13.574	435	-1.64
	南明水	NO.6	-86.619	16.502	441	1.78

$\delta D - \delta^{18}O_w$  坐标图(图 9)清晰地揭示出,阿尔泰山南缘金矿床含金脉石英包裹体水既不是原生岩浆水,也不是变质水,但有向变质水区演化的趋势。将样品点向左平移,则均落在乌鲁木齐气象台所测试的新疆现代大气降水数据[1982,郑淑蕙等]区间。之所以右偏雨水线较多,是大气降水被加热和含盐度增高所致。因而可得出如下结论:

(1) 大气降水热流体参与了阿尔泰山南缘的金成矿活动;

(2) 形成构造破碎带型金矿床和构造接触带型金矿床的成矿热流体,主要都是大气降水;

(3) 前已述及,额尔齐斯深断裂在 10 km 左右的深度处发生分叉,一支以 75°左右倾角 NE 倾切入深部,达壳幔边界;另一支以小倾在地壳内形成滑脱推覆带。这 10 km 左右深度,是大气降水能抵达的深度。从而,额尔齐斯滑脱-推覆构造带又是一条加热大气降水成矿热流体的重要活动带。

(4) 携带构造破碎带型金矿床矿质中转至泥盆-石炭系矿源层的火山物质岩浆房,可能在 10 km 深度处形成;同样,对构造接触带型金

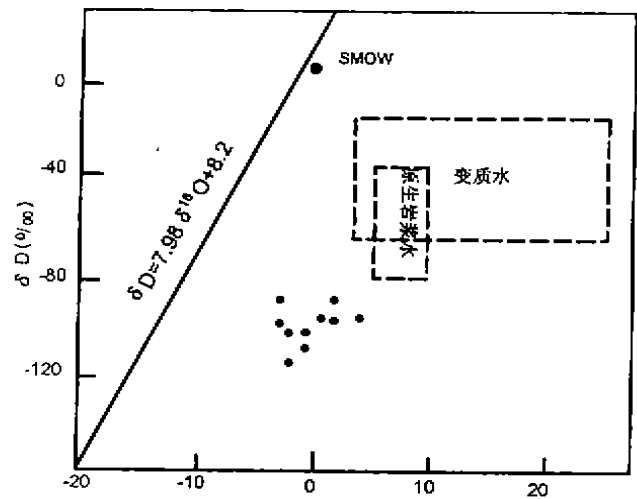


图 9 阿尔泰山南缘金矿床含金脉石英包裹体水  $\delta D - \delta^{18}O_w$  坐标图<sup>①</sup>  
Fig. 9  $\delta D - \delta^{18}O_w$  diagram of water in inclusions of auriferous quartz in the southern Altai Mountain

① 根据我国大气降水的情况,雨水线采用方程  $\delta D = 7.98 \delta^{18}O + 8.2$

矿床作出重大贡献的海西中期闪长岩的同熔型岩浆房,可能也是在 10 km 左右的地下深处形成。

### 3.4 气-液包体分析

#### 3.4.1 气-液包体特征

构造破碎带型金矿床含金脉石英的包体,大量(60%)呈椭圆形,其次为圆形、长条状和长圆形,少量呈三角形、眼状、不规则状和滴珠状。粒径极小,在 2~8  $\mu$  间,均为气相极少的液体包裹体(气、液比 2%~7%)。

构造接触带型金矿床含金脉石英的包体,主要呈不规则形和椭圆形,次为柱状和圆形,少量呈三角形、眼状、管状、四边形、弯月形和流线型,包体粒径波动在 1~15  $\mu$  间(大量在 3~10  $\mu$ ),大量包体为气、液两相并存的液体包裹体(气、液比在 2%~42% 间)。

#### 3.4.2 均一温度分析

共测试了阿尔泰南缘各金矿床(点)含金脉石英样品 17 个,剔除了沿愈合裂隙定向排列呈现良好确定轨迹的次生包体不予测定,共获 263 个均一温度值。分别按矿床(点)分别统计绘于图 10 中。从图中可以看出,属于构造接触带型的金矿床(多拉纳赛依、赛都)和属于构造破碎带型的金矿床(点)(萨尔布拉克、阿拉那提、克孜勒他乌、柯克萨依和南明水)明显地被区分开来。构造接触带型多拉纳赛依金矿床和赛都金矿床的均一温度明显地分出了二组温度区间,即中温区间 II 和低温区间 III;而构造破碎带型萨尔布拉克金矿床、阿拉那提金矿床、克孜勒他乌金矿点、柯克萨依金矿床和南明水金矿床只有一个温度区间,即低温区间 III。

显然,温度区间 II(优选温度 240~310  $^{\circ}\text{C}$ )代表了海西中期闪长岩类岩浆热液成矿的温度区间;温度区间 III(优选温度 130~200  $^{\circ}\text{C}$ )代表了大气降水成矿热液成矿的温度。构造破碎带型金矿床成矿热流体是单一的大气降水热流体;而构造接触带型金矿床的成矿热流体是大气降水热流体叠加在岩浆热液之上而成。

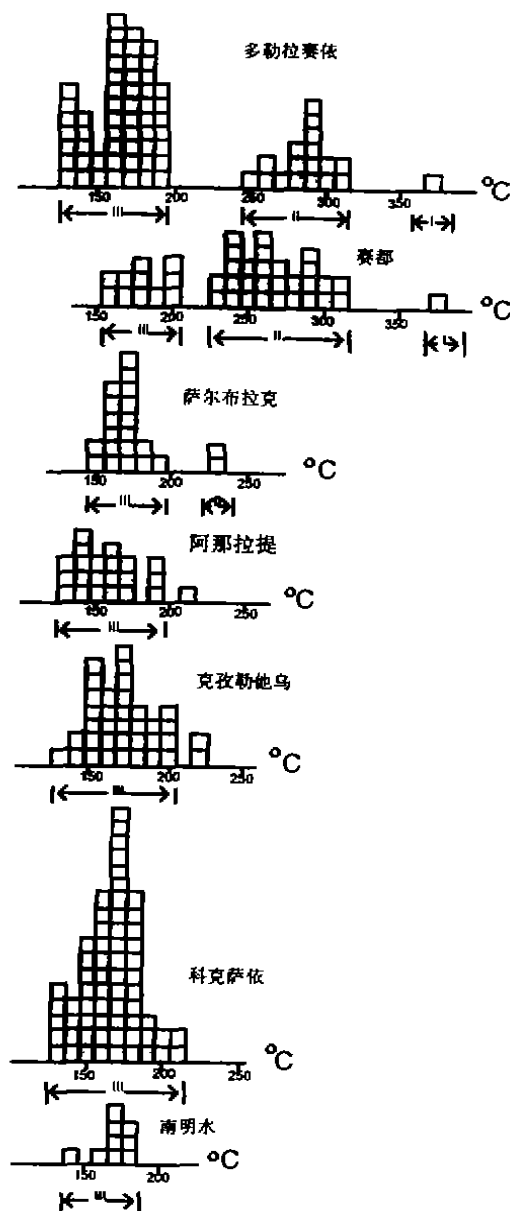


图 10 阿尔泰南缘各金矿床(点)含金脉石英包体均一温度直方图(一个方块代表一个温度值)  
Fig. 10 Histogram of homogenization temperature of the fluid inclusions in auriferous quartz of the different gold deposits(spots)

## 4 金矿床的构造成矿作用过程

根据以上大量地质资料 and 用多种手段多途径揭示的成矿信息,阿尔泰山南缘地区金的构造成矿作用过程,可作如下推导:

该区出露最老的地层为元古界蓟县系,前寒武纪区内为前地槽阶段。此时由于地壳尚薄,强大的热动力流和地幔物质极易贯入上升,逐渐形成含高丰度金的砂-页岩复理石建造。

古生代全区皆处于地槽阶段。寒武纪至志留纪时沉积了巨厚的夹有碳酸盐岩和磷块岩的砂-页岩复理式建造,并混有来自上地幔的岩浆侵入和少量的火山喷发。主压应力场已从 S-N 向转为 NE-SW 向,原前地槽阶段形成的 NW 向剪裂面——阿尔泰山南缘地区的额尔齐斯剪裂面及更南的斋桑—阿尔曼泰剪裂面于此时已被继承为挤压带,并深切至壳下岩石圈成为深断裂。奥陶纪时,在 NE-SW 向主压应力场作用下,哈萨克斯坦—准噶尔次生壳体缓缓朝 NE 向运动,使阿尔泰山山区自 NW 向 SW 逐渐露出海面。随着次生壳体运动的加速,前锋沿斋桑—阿尔曼泰一线俯冲,处于前沿弧的山前地带相对陷落于深海环境,左型走滑形成山前斜列等距型火山盆地,沉积细碧角斑岩建造。而额尔齐斯深断裂以南的 SE 段地区,有沿额尔齐斯深断裂上升的幔源强大热动力流同熔前地槽和地槽构造层沿额尔齐斯深断裂作裂隙式喷发,或于深断裂以南作中心式喷发(现存于富蕴县城 SW20~25 km 处呈 NW 向分布的古火山群可为佐证),伴随浅海沉积物形成具高丰度金的泥盆—石炭纪火山—沉积建造,而额尔齐斯深断裂 SW 的哈巴河地区,火山喷发则相对较弱。泥盆纪末,次生壳体 NE 向俯冲运动加剧,额尔齐斯深断裂的强烈滑脱—冲断—推覆运动,出现强大的热流,加热大气降水。此时,叠加的右型走滑使泥盆—石炭纪火山建造中出现一系列左型断裂面。大气降水热流体的运移方向与冲断推覆方向一致,由 NE 向 SW 流动,并含  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  和  $\text{CH}_4$  等挥发组分,形成弱酸性的热流体,Au 和贱金属从火山—沉积建造的各类岩石中析出,以络合物的形式随大气降水热流体活化转移,朝压力梯度和温度梯度较小的破碎带和层间破碎带集中。破碎带内相对宽敞的空间,在易于出现的有利物化条件下,成为金富集成矿的有利场所,逐渐形成阿尔泰山南缘构造破碎带型金矿床。上述成矿作用过程,可概括为:金随地幔热动力流和同熔岩浆喷发进入地槽构造层形成矿源层→随构造热动力场加热并驱动的大气降水热流体迁移至构造破碎带富集成矿,这就是阿尔泰山南缘构造破碎带型金矿床的成矿模式。

在额尔齐斯深断裂 SW 侧的哈巴河地区,上述成矿活动亦在进行,但泥盆—石炭系相对较贫 Au。很难形成具工业品位的构造破碎带型金矿床。但是,强大的含 Au 地幔热动力流沿额尔齐斯深断裂上升,同熔已定位的斜长花岗岩,并吸取由岩体活化转移的 Au 和贱金属形成高丰度的闪长岩岩浆房,缓缓沿已出现的张性断裂面上升定位在岩体的接触带上,和大气降水热流体携来的矿质一起,形成构造接触带型金矿床。这个成矿作用亦可概括为:金随地幔热动力流沿深断裂上升同熔早成的花岗岩形成闪长岩岩浆房→含金闪长岩被构造热动力场驱动在花岗岩体接触带的破裂地段成矿。这就是阿尔泰山南缘构造接触带型金矿床的成矿模式。

## 参 考 文 献

- 1982 郑淑蕙, 张知非, 倪葆龄. 西藏地热水的氢和氧稳定同位素研究. 北京大学学报(自然科学版), (1): 99 ~ 106
- 1985 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿. 西安: 陕西科学技术出版社, 23 ~ 46
- 1994 张湘炳, 李志纯等. 构造与金成矿规律. 北京: 地质出版社, 1 ~ 60
- 1996 李志纯. 构造成矿系列及找矿预测. 见: 额尔齐斯构造带构造演化及成矿系列. 北京: 科学出版社, 178 ~ 198

## TWO TECTONO-METALLOGENIC TYPES OF AU DEPOSITS AND THEIR METALLOGENIC MODELS IN THE SOUTHERN ALTAI MOUNTAIN

LI Zhichun

(Changsha Institute of Geotectonics, Academia Sinica, Changsha 410013)

### ABSTRACT

Gold deposits in the southern Altai Mountain can be divided into two types, i. e. "tectono-fracture zone type" and "tectono-contact zone type". Based on the study of regional geology, ore geology, strata, the potentiality of Au element in rock bodies, stable isotopes (Pb, H and O) and fluid inclusions, the author analyses the ore-forming process and the metallogenic models of the gold deposits comprehensively.

**KEY WORDS** tectono-fracture zone type, tectono-contact zone type, stable isotope, fluid inclusion, tectono-metallogenic process