

墨江金厂金矿床的地质特征及其成因*

俞广钧

谢如勇

(昆明工学院)

(墨江金矿)

金厂金矿床是我国西南的一个含银、镍及铂族元素的大型金矿床。目前,对该矿床的成因认识尚不一致,本文从与超基性岩有关的中—低温热液叠生成矿作用,探讨矿床的成因。

丰度值有普遍升高趋势($Au \cdot 10 \sim 100$ 余ppb)。因此,有的地质人员认为,本区加里东地槽的基性火山喷发活动对碎屑沉积的含金性有控制与强化作用;金厂组中、下部地层为金的矿源层。

矿区地质概况

金厂金矿床位于滇藏歹字型构造体系的中段东支、哀牢山变质带的西支带,处于红河深大断裂的次级构造安定—九甲深大断裂中段、金厂大断裂由北西变为南北的转折部位。矿床赋存于金厂超基性岩体西侧边缘与浅变质岩系接触部位蚀变岩的断裂内。

(一) 地层

矿区出露两套地层:上构造层为上三叠统一碗水组(T_{3y})红层;下构造层为中、下志留统金厂组(S_{1-2j})浅变质岩系;上、下构造层之间为不整合接触。由于后期构造运动强烈,地层发生倒转,上三叠统翻转于中、下志留统之下。

一碗水组分为上、下两段,矿区只出露下段地层,其岩性主要为灰色、紫红色砾岩、砂岩夹砂质泥岩。底部普遍有底砾岩。砾石主要为变质岩、超基性岩,局部有含金石英脉碎砾。岩层厚度变化较大。

金厂组浅变质岩系为一套正常碎屑沉积建造。地层受金厂倒转背斜控制,呈北北西向展布,底部为砾岩、含砾砂岩透镜体,中部为砂岩及砂岩与板岩互层,上部为砂板岩互层。中、下部出现基性火山熔岩与火山碎屑岩。受区域变质作用与蚀变作用的影响,原岩多变为石英岩、变余砂岩、板岩及滑石片岩等。金厂组地层按岩性可分为三个岩性段,各段含金性有明显差异(表1)。根据00533部队资料,金厂组中、下部地层中出现基性火山熔岩、火山碎屑岩及绿片岩相物质,金的

金厂矿区地层简表 表1

系	统	组	段	地层代号	岩性及矿化特征
三叠系	上统	碗水组	下段	T_{3y}	紫红色砾岩、砂岩夹砂质泥岩,局部有含金石英脉碎屑,厚度>400米。
			马平洞段	S_{1-2j}	灰色砂岩、千枚状板岩,变质程度较浅,厚度>430米,未见蚀变与金矿化。
	中统	金厂组	四十八两山段	S_{1-2j}	灰色板岩、砂岩与板岩互层,底部有2~5米的绿片岩、凝灰质绿片岩,厚度>400米,赋存有含金石英脉型矿体。
志留系	下统	厂组	烂山段	S_{1-2j}	下部为变质砾岩、含砾砂岩,中上部为变余砂岩、石英岩、石英岩夹薄层板岩,见有鱼眼石、沸石、气成电气石、凝灰质火山熔岩及火山碎屑物质,厚度320米,赋存有含金石英岩与含金石英脉混合型脉状、透镜状矿体。

(二) 构造

区内构造变动强烈,地层倒转、褶皱、断裂构造发育。金厂倒转背斜是矿区的主要褶皱构造。安定—九甲深大断裂在矿区的部分——金厂大断裂,纵贯金厂倒转背斜轴部,为矿区主干断裂,控制了金厂超基性岩体及金矿床的分布。

*中国科学院科学基金资助项目

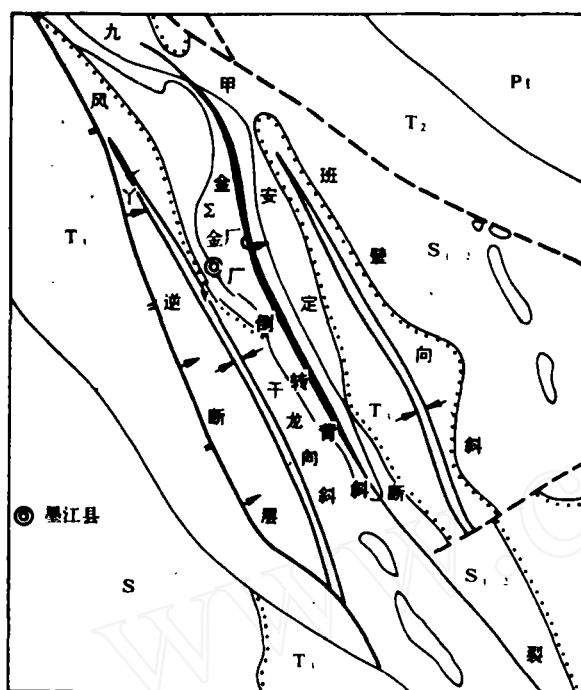


图1 金厂矿区区域构造略图

1—背斜轴；2—向斜轴；3—逆断层与平移断层；4—地质界线与不整合面；S₁—中、下志留统；Σ—超基性岩

金厂倒转背斜的核部为金厂组，翼部由一碗水组组成。背斜轴向与区域主干构造线方向一致，呈北北西向展布。金厂超基性岩体侵位于纵贯金厂背斜轴部的金厂大断裂。金厂金矿床分布于金厂倒转背斜西翼，处于背斜轴线由南北向变为北西向的转折部位（图1）。

区内断裂构造发育，按其规模大小可分为三级。一级断裂为金厂大断裂，它纵贯整个矿区，其总走向为北北西向，倾向北东东，倾角45~80°，沿走向具有波状弯曲特征。自南至北在平面上呈反S形展布，为多期活动的压扭性断裂。断裂带宽数百米至二千余米，带内除超基性岩体侵位充填外，尚有不同期的酸性、基性岩脉充填。它控制了岩体的形态、规模、产状与空间分布，为控岩构造。二级断裂分布于金厂超基性岩体与中、下志留统浅变质岩系之间的断裂接触带，为控制矿床矿脉群分布的导矿构造。断裂带总走向为北北西向，倾向北东东，倾角40~80°，局部走向变化频繁，在平面上反复多次转折，呈波状弯曲，

控制着三级断裂与矿脉群的空间分布。三级断裂一般为配矿或容矿构造。自北至南分布有四十八两山、老金牛、烂山、滴水坎等三级断裂群。它们分别由一系列平行展布或雁行状断裂群组成。其走向主要为东西向、北北西向、北北东向三组。三级断裂控制矿脉与矿体的分布，是赋存矿体的主要断裂构造（图2）。

（三）岩浆岩

本区岩浆岩多为华力西—印支期产物，主要有超基性岩，次为基性岩和酸性岩，局部有加里东期基性火山喷发活动。其中以超基性岩最为重要，规模最大，分布最广，与金矿有着生因关系。

超基性岩岩体沿金厂大断裂侵位于早古生代地层。岩体长16公里，宽1.3~2公里，为一个两端狭窄、中部膨大的岩墙，平面上呈南北向反S形展布。岩体由橄榄岩、斜方辉橄岩及少量含辉纯橄岩—纯橄岩组成。镁铁比 $m/f=7\sim11$ ，属镁质超基性岩。岩体含金丰度值普遍升高（据500多个蛇纹岩样品平均含金为0.035g/t），岩体边部蛇纹岩化橄榄岩内发现有自然金颗粒与黄铁矿共生，自变质作用广泛而强烈，蚀变深度达500多米，表现为蛇纹岩化、绢石化与石棉化。岩体边缘碳酸盐化、滑石化、硅化十分强烈，形成不同规模的菱镁岩带、硅化带及滑石片岩带（图2）。

基性脉岩主要为浅成辉绿岩，其产状与区域构造线方向一致，沿志留纪地层中的北北西向断裂分布。岩石呈深绿色或绿色，致密块状，粒度较细。岩体规模不大，大多绿泥石化与硅化，片理化明显，局部有金矿化。

花岗斑岩岩体规模较小，分布较普遍，主要沿北北西向断裂产出，呈岩枝状除侵入于金厂组地层外，少数亦切穿蛇纹岩化超基性岩体，侵入时代晚于超基性岩体，为超浅成相产物（表2）。

矿区北部出露连续性差、层位稳定、厚2~5米、灰至灰绿色、具辉绿结构和块状构造的似层状或透镜状片理化基性火山熔岩。由于区域变质与蚀变作用，原岩均变为黄铁矿化、绿泥石化绿片岩。人工重砂中发现有自然金颗粒。因此，有人认为本区基性火山喷发活动对金厂组中、下部金矿源层的形成起控制作用。

个别地段达5~6米,变化较大,厚度变化系数 $V_m=36\sim78\%$,矿体中金分布不均匀,金品位数g/t到数十g/t,高者100~200g/t,最高达700~1000g/t,品位变化系数 $V_c=80\sim150\%$ 。

矿石的矿物成分较复杂,种类较多。贵金属矿物有自然金、银金矿、钯金矿、铼金矿及自然铂等。金属硫化物有黄铁矿、辉钨矿、银黝铜矿、硫锑铜银矿、黄铜矿及硫化镍等。脉石矿物有石英、铬水云母、滑石、高岭石、绿泥石、菱镁矿等。矿石结构以晶粒状结构为主,碎裂填间、乳滴、骸晶、包含等结构次之。矿石构造以块状、条带状为主,次为细脉浸染状和角砾状。金的赋存状态主要有裂隙金、晶隙金、包体金和吸附金四种。

金矿床热液成矿期可分为三个成矿阶段:

I—矿物组合为少量自然金、硫化镍、黄铁矿、石英等;II—主要为自然金、石英、黄铁矿及多金属硫化物组合;III—为石英、粗粒黄铁矿组合等。第II阶段为金的主要成矿阶段,大量自然金、银金矿与辉钨矿、银黝铜矿、黄铜矿等密切共生。初步研究表明:早期成矿阶段发现有自然铂、铂金矿、钯金矿、铼铂矿等呈蠕虫状、肾状及不规则粒状与石英、黄铁矿等共生。

含金石英脉顶底盘围岩中普遍发育有不同类型与不同强度的蚀变带。主要蚀变有硅化、黄铁矿化、铬水云母化、滑石化、碳酸盐化、高岭石化及绿泥石化等。其中与金矿化有关的近矿围岩蚀变为黄铁矿化、硅化和铬水云母化。

矿床成因

(一) 金的物质来源

根据矿石测试分析资料,参与成矿作用的元素主要有Au、Ag、Ni、Cr、Co、Pt、Pd、Fe、Si、S、As、Se等,其中除少量金银来自地层外,成矿物质绝大部分来自超基性岩体。目前对金的来源认识主要有来自金厂组矿源层和来自金厂超基性岩体两种观点。笔者认为,上述两种认识都有一定依据,但有主次之分,深部超基性岩是金的主要来源,而来自地层的金是次要的。

金厂金矿床矿体均赋存于金厂组中、下部砂板岩地层,部分矿体产状与地层一致,具有一定

的层控特征。据00533部队资料,金厂组中、下部地层正常碎屑沉积中发现与凝灰质基性火山岩有关的鱼眼石、气成电气石、蛋白石、沸石等物质及层位稳定而连续性较差的绿片岩和绿泥片岩——基性火山熔岩受区域变质的产物。测试分析表明,含矿层位岩石中金的丰度值普遍升高(金由数十至百余ppb),人工重砂中见到自然金颗粒,表明本区加里东地槽的基性火山活动把金质带入金厂组中、下部地层,火山物质是金质来源的载体,它为矿源层的形成提供了物质来源。在区域变质、构造运动、岩浆热力诸因素影响下,矿源层中的金可与原岩中的卤素、硫及水等形成金的可溶性络合物 $[AuCl_2]^-$ 、 $[AuCl_4]^-$ 、 $[AuClOH]$ 、 $[AuS_2]$ 、 $[AuS_3]^{3-}$ 等。随着矿源层变质程度不断加深,金质不断被带出,进入变质热液,当矿液由围岩进入容矿断裂时,由于物理化学条件的改变,导致金的络合物分解,在原地或半原地交代充填富集成矿。根据变质热液中金的来源的有关文献,随着区域变质程度不断加深,矿源层中金不断被带出,因而岩石变质程度越高,其含量越低,带出金量就越多;反之岩石变质程度越浅,含量就越高,带出金量就越少。尽管金厂组地层存在矿源层,绿片岩相有利于金的富集成矿,但由于金厂组中、下部地层属浅变质岩系,基性火山物质分布连续性也差,因此,虽然矿源层含金丰度值高,但能提供成矿的带出金量则较少。所以,来自地层的金质是成矿的次要来源。

金质主要来自超基性岩体的论据有以下几点:

1. 矿区各类岩浆岩中以超基性岩含金量最高。据金厂超基性岩体500多个蛇纹岩化超基性岩样品化验结果,平均含金35ppb,为地壳丰度值(3.5ppb,黎彤)的10倍,并且在岩体边缘全硅化超基性岩中赋存有金矿化。金厂岩体已强烈蛇纹岩化,蚀变深度达500余米。金的来源与超基性岩的蛇纹岩化密切相关,据有关文献中估算,1立方公里超基性岩在碳酸盐化或蛇纹岩化等水化作用过程中能释放出62吨金,与此同时,还被替换出大量的 SiO_2 。因此,金厂岩体在蛇纹岩化和

碳酸盐化过程中,大量金质与SiO₂由岩体向金厂组地层迁移。所以,金矿化往往伴随有硅化,并形成含金石英脉与含金石英岩。

2.根据昆明冶金研究所电子探针分析结果,贵金属矿物中除自然金、银金矿外,尚有自然铂、铱金矿、钯金矿、铱铂矿等。多数铂族矿物与金、银和铁的硫化物共生。自然铂常呈蠕虫状、不规则状及肾状等嵌布于黄铁矿等矿物中。根据该所原矿大样选矿试验资料,金与铂呈互为消长关系(表3),金精矿中其他铂族元素(Pd93.1g/t, Ir44.2g/t, Os31.0g/t, Rh2.2g/t, Ru0.145g/t)也有富集趋势。上述资料表明,金与铂族元素均为地壳深源物质,应来自超基性岩体。

金厂金矿床矿石中金、铂品位(g/t)对比 表3

大样号	Au	Pt
1	13.49	33.37
2	16.49	61.24
3	42.39	59.19

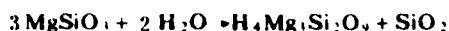
3.矿区硫同位素 δS^{34} 变化范围为-8.3~-1.1‰,平均值为-1.3,极差7.2,分布比较集中,塔式效应明显,有接近陨硫硫的趋势。各类岩(矿)石 δS^{34} 平均值接近,表明有相同的硫

来源。与金矿化有关的硫主要来自超基性岩;来自其他方面的硫居次要地位(表4)。

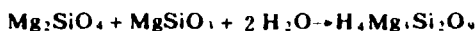
金厂矿区硫同位素组成 表4

岩石类型	样品数	平均 δS^{34} (‰)	δS^{34} 变化范围 (‰)	极差 (R)
蛇纹岩	1	-5.1		
花岗岩	7	-2.9	-4.6~-1.7	2.9
全硅化超基性岩	12	-5.0	-7.0~-3.2	3.8
含金石英脉	3	-3.8	-4.2~-3.1	1.1
含金石英岩	6	-4.2	-6.0~-1.7	4.3
砂岩	7	-6.1	-8.3~-4.8	3.5
板岩	7	-2.7	-4.1~-1.1	3.0

1.超基性岩本来是贫硅的岩浆岩,但金厂超基性岩体由于发生了强烈而广泛的蛇纹岩化、碳酸盐化等蚀变作用,在此过程中岩体释放出大量的硅质。同时,岩体中分散状的金在一定温度、压力条件下与介质发生活化作用,大量硅质伴随着活化金,一方面在岩体边缘形成含金全硅化超基性岩,另一方面迁入外接触带金厂组中、下部地层,使砂岩硅化为含金石英岩;而其中大量含金热液则进入成矿构造,形成含金石英脉。如超基性岩中的斜方辉石、橄榄石在蛇纹岩化、碳酸盐化等蚀变作用下,以下列化学反应式释放大量的SiO₂:



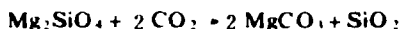
顽火辉石 蛇纹石 石英



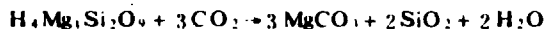
橄榄石 顽火辉石 蛇纹石



蛇纹石 滑石 菱镁矿



橄榄石 菱镁矿 石英



蛇纹石 菱镁矿 石英

实际上,矿区除超基性岩体边缘出现全硅化和金厂组地层硅化外,在岩体与地层接触带上还常出现菱镁岩和滑石化带(图3)。总之,在超基性岩碳酸盐化、水化作用等自变质作用过程中,岩体失硅,硅质由岩体迁入地层,成为含金石英岩和含金石英脉的主要硅质来源。

5.矿体通常分布在距岩体与地层接触断裂带

数米至数十米的范围内;距岩体太远无工业矿体。矿体均赋存在断裂构造带内,后者与岩体和地层接触断裂带(导矿构造)呈高角度相交的近东西向断裂带,含矿性最好,其次是北北西向和近南北向断裂群。这表明矿液来自岩体及其深部,通过导矿构造进入容矿构造而富集成矿(见图2)。

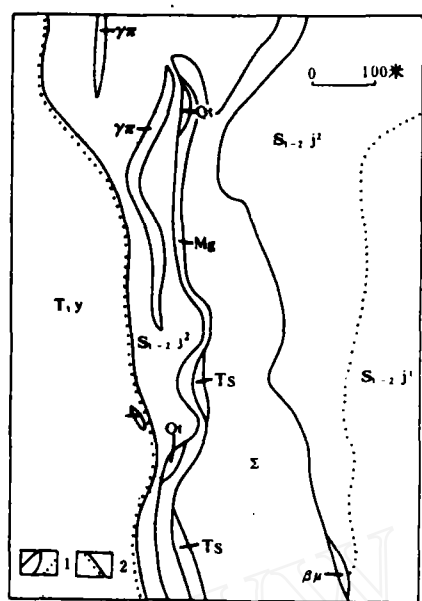


图3 超基性岩体边缘菱镁矿、滑石化带分布图

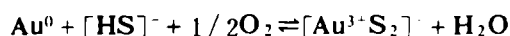
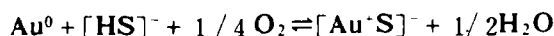
1—地质界线；2—不整合面；S_{1-j'}—中、下志留统；
T_{1y}——晚水组；γπ—花岗岩；Σ—超基性岩体；Mg—
菱镁矿带；Qt—石英岩；Ts—滑石片岩

(二) 区域变质作用、超基性岩的自变质作用与金的活化转移

根据同位素年龄测定,本区区域变质作用开始于华力西末期,哀牢山变质带西亚带已逐渐变为浅变质带。在变质过程中,随着温度与压力升高,金厂组中、下部矿源层中的微量金质与原岩中的卤素、硫及水等形成 $[AuCl_2]^-$, $[AuCl_4]^-$, $[AuCl_3OH]^-$, $[AuS_2]^-$, $[AuS_3]^{3-}$ 等络合物。由这些含金络合物组成的变质热液由围岩向断裂带迁移。因为围岩中由于构造应力而产生的成矿构造往往是张开扩容断裂构造,它是在成矿前或成矿期所产生的低温、低压和低化学电位带。它与矿源中心之间存在温度、压力和化学电位梯度。显然,处于哀牢山变质带西亚带的金厂矿区,由于区域构造运动强烈,深大断裂形成及超基性岩浆由地壳深部沿断裂上升,侵入古生代地层,温压升高已足以使矿源层中微量金活化迁移,形成变质热液,为富集成矿提供了部分金的来源。

超基性岩浆的侵入活动,不仅为地层中微量金的加剧活化提供了热力条件,更重要的是它从地壳深部带来了大量金质,成为成矿母岩,是形

成富金矿体的主要物质来源。超基性岩浆期后热液富含S, As, NaHS, H₂O, Cl₂, CO₂, O₂等活动组分,它们与岩体中分散状微粒金以下列化学反应式发生活化溶解与迁移:



碱性介质中,金以 $Na_2[AuAsS_3]^{2-}$, $Na[AuS]^-$, $Na[AuS_2]^-$, $Na_3[AuS_3]^{3-}$, 铂以 $M_2[PtCl_6]$ 氯铂酸盐络合物 (M=K, Na, Rb, Cs) 等络合物形式,伴随岩体自变质作用释放出的大量SiO₂,通过导矿、配矿构造向温压较低的金厂组地层中的容矿断裂构造迁移。成矿早期阶段矿液与断裂毗邻的围岩交代,形成灰色或条带状含金石英岩,中晚期阶段矿液充填于容矿断裂,形成含金石英脉。随着热液中氧逸度升高,而矿液贫硫时,Au还以 $Na[H_2AuO_3]$, $Na_3[AuO_3]$ 等金酸盐形式迁移,便形成贫硫化物的含金石英脉,叠加于早期矿化之上。因此,本矿区大部分含金石英脉中硫化物含量较低,其含量常小于1

~2%。关于金的迁移方向,可以从岩体到地层金矿体厚度和金含量变化的方向性得到证明:随距岩体距离的增加,金含量缓慢上升到极大点后急剧下降(图4),表明金由岩体迁入地层后,由于物理化学条件改变而逐渐沉淀,直至达到金所不能逾越的地球化学障,才完全沉淀下来,形成由缓升到陡降的曲线。矿区金矿化时金的主要迁移方向是由金厂岩体迁向金厂组地层。

(三) 金的沉淀富集

超基性岩浆期后热液形成过程中,由于岩体自变质为蛇纹岩,体积膨胀,以及构造应力作用,导致岩体边缘、岩体与金厂组地层断裂接触带及与其毗邻的外接触带,形成了一系列成矿断裂构造,为含矿热液提供了导矿通道与沉淀富集场所。矿液沿导矿构造从岩体向金厂组地层内的容矿断裂迁移。金的富集作用主要与各级成矿断裂构造形成的空间有关,特别是金厂组地层距导矿构造数米至数十米范围内的近东西向、北北西向或近南北向的北北东向叠加有张扭性的压扭性断裂的局部张开扩容构造,最有利于矿液的富集。成矿

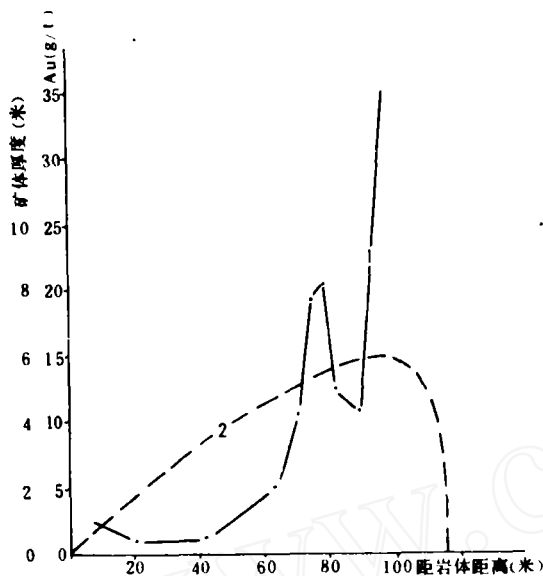
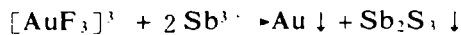
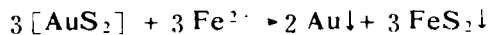
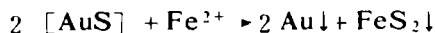


图4 金厂烂山1号矿体金随岩体

距离的变化曲线

1—金含量变化曲线；2—金矿体厚度变化曲线

早期阶段矿液沿成矿前断裂交代充填，形成含金石英岩和早期阶段含金石英脉。中、晚期阶段，矿液主要沿成矿期断裂构造充填，叠加于早期阶段矿化之上，形成硫化物、多金属硫化物含金石英脉。金的沉淀方式及其主要共生矿物的生成，可用以下化学反应式表示：



由上所述可知，在一定的物理化学条件下，当矿液中金的络合物 $\text{Na}[\text{AuS}]$ 、 $\text{Na}[\text{AuS}_2]$ 等与 Fe^{2+} 、 Sb^{3+} 等低价态变价元素或其他还原物质相遇时，立即发生解络反应，沉淀出大量自然金及与其共生的黄铁矿、辉锑矿、黝铜矿等硫化物和多金属硫化物；与此同时，矿液中除硫化物外，还伴随有大量 SiO_2 沉淀。早期成矿阶段，由于硫化物尚未开始沉淀，析出的石英一般为乳白色，而中期阶段，硫化物、石英及自然金同时沉淀，形成黄铁矿、多金属硫化物含金石英脉；由于受硫化物的“污染”，一般石英呈灰色、灰黑色或肉红色，而晚期阶段，由于硫化物绝大部分已沉淀下来了，故析出的石英多为纯白色。随着

矿床内容矿断裂构造的持续张开，不同阶段矿液充填于同一容矿断裂内，形成了对称的条带状含金石英脉（图5）。

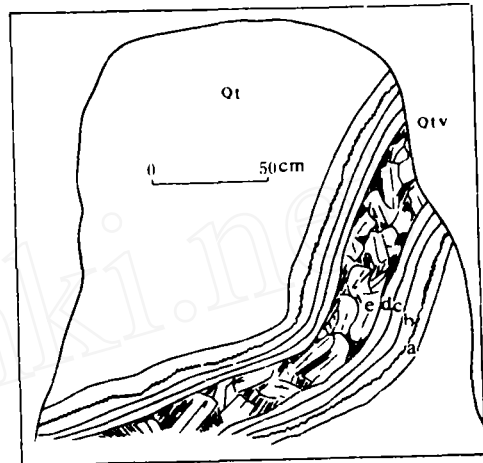


图5 对称条带状含金石英脉素描图

Qt—石英岩；a—浅肉红色隐晶质石英脉 b—灰白色石英脉；c—含碳质石英脉；d—乳白色石英脉；e—白色石英角砾，被后期硅质胶结

结 论

1. 金厂矿床是一个与超基性岩有成因联系的中低温热液叠生金矿床

2. 超基性岩浆的侵入，不仅为矿源层中金的活化提供了热力条件，而且从深部带来了大量金质。它沿金厂深大断裂侵入，含金丰度达35ppb，为成矿母体。金厂超基性岩体已强烈蛇纹岩化、碳酸盐化、硅化与滑石化，蚀变深达500余米。岩体在碳酸盐化和水化作用过程中释放出大量金质，同时替换出大量 SiO_2 ，金与硅质具有相同来源。金矿化与硅化密切相关，形成含金石英脉和含金石英岩矿体。

3. 区域变质作用有利于金厂组中、下部矿源层中微量金的活化及变质热液的形成，为富集成矿提供了次要金质来源

1. 工业矿体均赋存于导矿断裂构造转折部位距导矿断裂数米至数十米范围内的多期活动的压扭性断裂带内；特别是与导矿断裂成高角度相交的压扭性断裂，是成矿最有利的断裂构造