

青海东昆仑五龙沟金矿床成矿条件及成矿机理

李厚民^{1,2}, 沈远超¹, 胡正国², 钱状志²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 长安大学, 西安 710054)

[摘 要] 青海省都兰县五龙沟金矿床是青海省及东昆仑地区一个十分重要的金矿床, 其成矿条件及成矿作用的研究对工作程度很低的东昆仑地区金矿找矿工作具有十分重要的意义。通过对五龙沟金矿床矿化期次、成矿条件的分析总结, 探讨了该矿床的成矿机理, 总结了其成矿模型。

[关键词] 金矿床 矿化期次 成矿机理 成矿模型 东昆仑五龙沟

[中图分类号] P618.51; P612 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)01-0065-05

青海省都兰县五龙沟金矿床是东昆仑地区一个十分重要的金矿床, 其成矿作用及成矿模型的研究对本区金矿找矿工作具有重要意义。

1 五龙沟金矿床基本地质特征

五龙沟金矿床位于柴达木盆地南缘、东昆仑中央断裂(简称昆中断裂)以北的东昆仑中段构造-岩浆带(简称昆中带)中, 大地构造位置上属华北-塔里木板块西南缘过渡带。矿区出露地层主要为元古宙金水口群变质达角闪岩相的火山-沉积建造, 岩浆岩以石灰沟片麻状花岗闪长岩体和外滩超基性-中性杂岩体及闪长玢岩-隐爆角砾岩为主, 五龙沟-石灰沟韧性剪切带呈 NWW 向横贯全区, 剪切带北盘及叠加其上分布着具等间距特征的 NW 向脆性断裂带(图 1)。

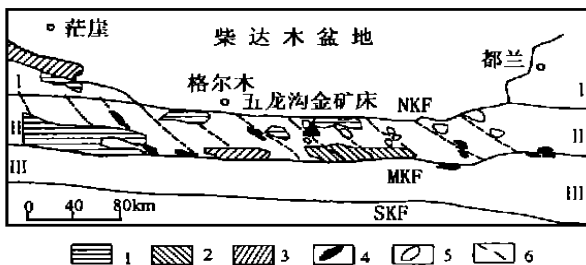


图 1 五龙沟金矿床区域地质略图

1—下元古界; 2—中、上元古界; 3—古生界; 4—基性-超基性岩; 5—印支期浅成-超浅成岩分布密集区; 6—北西向剪切带; —昆北带; —昆中带; —昆南带; NKF—昆北断裂; MKF—昆中断裂; SKF—昆南断裂

金矿化主要发育于 NW 向脆性断裂带中并严格受其控制。矿区目前已发现断裂破碎带 80 余条, 其中 26 条为含矿带(Au 大于 1×10^{-6}), 重要的有、等含矿带(图 2)。含矿带主要呈 NW 走向, 倾向 NE, 倾角 $40^\circ \sim 60^\circ$; 单条矿带宽数米, 长可逾 7

km; 矿带内原生矿化蚀变主要为硅化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化等, 其次有辉锑矿化、辉铁锑矿化、铁碳酸盐化、高岭土化、多金属矿化、夕卡岩化等, 矿化与蚀变强度呈正比。

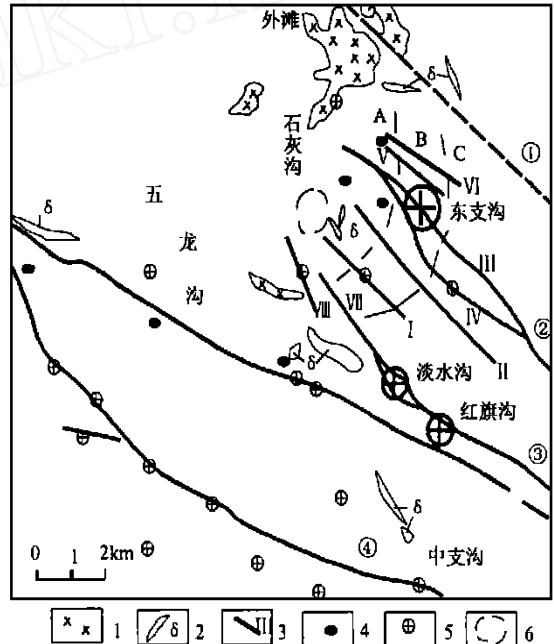


图 2 五龙沟金矿床矿区地质图

1—外滩杂岩; 2—闪长玢岩脉(枝); 3—金矿化带及编号; 4—多金属(金)矿点; 5—金矿床(点); 6—印支期浅成-超浅成岩浆活动中心; A—多金属(金)矿化带; B—金-锑矿化带; C—金-锑矿化带; —巴尔图达吾—黑石山剪切带; —岩金沟剪切带; —萤石沟—红旗沟剪切带; —三道梁—苦水泉剪切带

矿带中矿体呈集群状侧列产出, 有分枝复合现象; 矿体呈透镜状、“脉”状、“带”状, 长 20 m ~ 560 m, 延深 20 m ~ > 390 m, 平均厚 0.90 m ~ 3.31 m, 规模变化较大。矿石主要呈浸染状、细网脉浸染状及角

[收稿日期] 2000-11-28; [修定日期] 2000-12-01; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 国土资源部“九五”资源与环境科技攻关项目(9502214)、国土资源部定向科研项目(95-18)、“九五”国家科技攻关 305 项目(96-915-06-01A)资助。

砾状构造,微细粒结构;主要矿物组合为绢云母 + 石英 + 黄铁矿 + 毒砂;Au 主要为不可见金,明金少见。

金矿石 K - Ar 等时线年龄为 197 Ma,矿石铅模式年龄为 210 Ma,表明金矿化发生于印支末—燕山早期,与玢岩—隐爆角砾岩的时代(Rb - Sr 等时线年龄 209.09 Ma $\pm$ 22.73 Ma)一致。

2 五龙沟金矿床的成矿阶段

五龙沟金矿床的矿化期次从早到晚可分为如下几个矿化期和矿化阶段:

2.1 伴生金多金属矿化热液期

形成夕卡岩型、脉型多金属矿化,伴生 Au $0.175 \times 10^{-6} \sim 0.53 \times 10^{-6}$ 。典型矿物组合为磁黄铁矿 + 黄铜矿(外滩铜矿点);黄铜矿 + 方铅矿 + 黄铁矿 $\pm$ 闪锌矿 $\pm$ 毒砂(东支沟铜矿点);方铅矿。矿石呈块状、稠密浸染状、条带状,矿物颗粒粗大。

2.2 金矿化热液期

为本区金的主要矿化期。扫描电镜分析该期黄铁矿中有较多方铅矿、黄铜矿包体,表明晚于伴生金多金属热液期。该期据矿化蚀变特征可进一步划分为 5 个阶段:

2.2.1 黄铁绢英岩化金矿化阶段

该阶段黄铁绢英岩化强烈,绢云母、石英主要为构造岩中斜长石、黑云母等矿物受热液蚀变而成,可见绢云母、石英集合体显示斜长石、黑云母的晶形、解理或环带、双晶构造的假象,黄铁矿以细粒它形浸染状沿原暗色矿物的解理及边部分布;扫描电镜分析黄铁矿中有金红石包体,表明其继承了原黑云母中的 Ti、Fe。该阶段典型矿物组合为绢云母 + 石英 + 黄铁矿 + 磁黄铁矿, Au $0.02 \times 10^{-6} \sim 17.80 \times 10^{-6}$, 平均 3.80×10^{-6} 。

2.2.2 硅化毒砂化金矿化阶段

该阶段细粒硅质交代明显,毒砂化发育,并有较强绢云母化参与。硅化以石英细脉、网脉或交代硅化岩形式出现,石英呈细—微粒自形晶;毒砂呈极细小矛状、长条状自形晶均匀浸染,交代;磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂及被毒砂交代的黄铁矿中均包有金红石。该阶段典型矿物组合为石英 + 毒砂 $\pm$ 黄铁矿 $\pm$ 绢云母, 含 Au $3.57 \times 10^{-6} \sim 171.04 \times 10^{-6}$, 平均 46.69×10^{-6} 。

2.2.3 辉(铁)锑矿化金矿化阶段

该阶段的代表产物是辉锑矿和辉铁锑矿。辉锑矿呈它形粗晶产于脉石英的裂隙中,发生变形呈变形丝带、应力聚片双晶及细粒化颗粒;辉铁锑矿比辉锑矿形成晚,呈毛发状产于活化石英细脉或铁碳酸

盐细脉中,或呈重结晶的细粒自形辉铁锑矿交代细粒化辉锑矿。该阶段典型矿物组合为辉锑矿 + 辉铁锑矿 + 石英 $\pm$ 铁碳酸盐, 含 Au $16.54 \times 10^{-6} \sim 99.08 \times 10^{-6}$, 平均 54.04×10^{-6} 。电子探针及矿物微量元素分析辉锑矿中含金不高而辉铁锑矿含金很高,表明该阶段金主要赋存于辉铁锑矿中,金成矿流体中铁含量高。

2.2.4 石英黄铁矿化金矿化阶段

该阶段以黄铁矿细脉、活化石英细脉发育为特征。脉宽数毫米,脉中黄铁矿呈细粒立方体自形晶,石英呈洁净的微细粒自形棒状晶,系硅质活化产物,明显晚于绢云母化、毒砂化及微细粒硅化。该阶段金矿化弱,含 Au $0.108 \times 10^{-6} \sim 5.49 \times 10^{-6}$, 平均 1.32×10^{-6} 。

2.2.5 碳酸盐化阶段

该阶段以沿张性裂隙充填的方解石细网脉为特征,它切穿了毒砂黄铁矿脉。该阶段产物含 Au $0.152 \times 10^{-6} \sim 1.85 \times 10^{-6}$, 平均 0.80×10^{-6} ,表明金矿化已近尾声。

2.3 表生氧化期

为金的淋蚀聚合阶段,原生矿石中的微细粒金被淋蚀聚合,在氧化带中形成明金,是明金的主要形成期。

石灰沟金矿区 矿带金含量频率分布有六重母体(图 3),也显示了金矿化的多期多阶段性。图 2 中各母体代表了金矿化的不同阶段:母体 1 代表矿区金背景值(Au $20 \times 10^{-9} \pm$),母体 2 代表多金属矿化阶段伴生金矿化(Au 0.2×10^{-6}),母体 3 代表石英黄铁矿细脉型金矿化(Au $0.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$),母体 4 代表黄铁绢英岩化阶段金矿化(Au $3 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$),母体 5 代表硅化毒砂化阶段金矿化(Au $16 \times 10^{-6} \pm$),母体 6 代表辉(铁)锑矿化阶段金矿化(Au $50 \times 10^{-6} \pm$)。

3 五龙沟金矿成矿条件分析

3.1 成矿地质条件

研究表明本区金矿化的主要控制因素为构造及岩浆活动。此外有利的原岩条件也很重要。

3.1.1 深大断裂是重要的导岩导矿构造

本区夹持于昆中断裂和昆北断裂两条深大断裂之间,矿区内有 4 条呈 NW - SE 向平行展布、相距 4 km $\sim$ 5 km 的大规模脆韧性剪切带,巴尔图达吾—黑石山剪切带控制了外滩超基性—中性岩浆岩,岩金沟剪切带控制了东支沟金矿床,萤石沟—红旗沟剪

切带控制了红旗沟、淡水沟金矿床,三道梁—苦水泉剪切带控制了中支沟金矿床(图 2)。

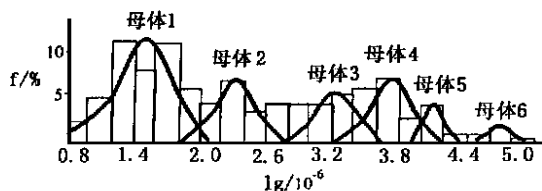


图 3 石灰沟金矿区 矿带 Au 含量频率分布

3.1.2 超基性—中性岩浆活动为本区金成矿提供了物质及动热来源

矿区发育外滩超基性—中性岩浆岩,呈岩株和岩枝(脉)两种产态。岩株分布于石灰沟口外滩一带,岩体由闪长质基体和广布其中的大小不一、数量众多的“岩球”组成。“岩球”具典型的球状构造,自球心向外依次为粗—巨晶辉石岩、粗晶暗色辉长岩、中—粗粒暗色闪长岩、灰—灰白色细晶闪长岩,各岩性间呈渐变过渡关系;由岩体中心向边缘,“岩球”含量减少,细粒闪长质基体增多。这些均显示了清晰的岩浆结晶分异特征。该岩株的岩枝(脉)集中出露于石灰沟选矿厂及五龙沟中支沟等地,单脉宽数十厘米—数米,长数十米—千余米,主要为闪长玢岩类岩枝(脉),局部出现隐爆特征。岩石斑状结构明显,常含大量浸染状黄铁矿。岩石化学及微量元素研究表明上述岩浆岩具同源岩浆性质。

外滩超基性—中性岩浆活动与本区金矿化具有密切的成因联系。时间上,二者基本相近(见前述);空间上,自外滩超基性—中性岩株向外,依次分布着玢岩—隐爆角砾岩型金矿化、夕卡岩型铜伴生金矿化、夕卡岩型铜铅多金属伴生金矿化、蚀变构造岩型金矿化及石英脉型金、锑矿化(图 2)。前二者分布于海拔较低的外滩及沟谷中,后二者出露标高较高,矿带金矿体向 NW(外滩岩株)方向侧伏,这些均反映了矿化与外滩杂岩密切的空间关系;成分上,外滩杂岩的晚期端元—闪长玢岩、石英闪长玢岩等岩枝(脉)及隐爆角砾岩含金平均 185×10^{-9} ,可高达 380×10^{-9} ,显示了外滩岩浆活动与金成矿的密切成分关系;地球化学特征上,玢岩—隐爆角砾岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 4.74‰~6.86‰(平均 6.13‰),蚀变构造岩型金矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 3.26‰~5.32‰(平均 4.41‰),二者十分接近,矿石中硫化物包裹体水的 δD (-57.32‰~-75.24‰)也落入岩浆水 δD (-40‰~-80‰)的范围内;据矿石中石英 $\delta^{18}\text{O}$ 计算的与之平衡的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -4.71‰~+4.81‰,略低于岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}$ (+5.5‰~+9.5‰),显

示为岩浆水与大气降水的混合热液。矿石的稀土配分型式与闪长玢岩类岩枝(脉)也十分类似。

3.1.3 脆性断裂带是重要的容矿空间

区内金矿化均发育于脆性断裂带中,严格受构造带控制。含矿带多叠加于岩金沟、萤石沟—红旗沟和三道梁—苦水泉剪切带上或其旁侧,以 NW、NNW 向为主,相间约 1 km,蚀变碎裂岩的原岩为千糜岩、黑云斜长片麻岩、花岗闪长岩等。这种脆性断裂带有利于成矿流体交代蚀变形成金矿。

3.1.4 富铁的围岩是金等成矿物质沉淀的有利地球化学障

研究表明围岩中的暗色矿物黑云母、角闪石等在热液蚀变过程中退变为白云母、碳酸盐等并析出铁质、钛质,它们最初以铁、钛氧化物的形式分布于原暗色矿物的解理、边部及裂隙中,后来铁质和成矿流体中的 S、As 等结合形成黄铁矿、含砷黄铁矿及毒砂等铁的金属硫化物并导致金的沉淀,而钛因不能形成硫化物而仍以金红石的形式包裹于硫化物中。因此,黑云斜长片麻岩、闪长玢岩、斜长角闪岩、二云母片岩等富含暗色矿物的岩石及其构造碎裂岩是有利于金矿化的围岩。

3.2 成矿物理化学条件

3.2.1 成矿温度

不同阶段矿化温度不同:夕卡岩型多金属矿化属高温热液矿化,其爆裂温度 304 ~ 374 ℃,据硫同位素温度计求得的温度为 405 ~ 674 ℃(平均 503 ℃),据闪锌矿温度计求得的温度为 550 ~ 580 ℃;黄铁绢英岩型及硅化毒砂型矿化属中温热液型,其矿物包裹体均一温度为 250 ~ 330 ℃(平均 287 ℃),爆裂温度为 293 ~ 326 ℃;石英脉型辉(铁)锑矿属中偏低温矿化,其爆裂温度为 215 ~ 265 ℃。即从早到晚,矿化温度有从高到低演化的趋势。

3.2.2 成矿压力及深度

由矿物包裹体成分求得成矿压力为 $171 \times 10^5 \text{ Pa}$ ~ $336 \times 10^5 \text{ Pa}$,相当于 814 m ~ 1600 m 的静水深度,表明矿化发生于浅成—超浅成环境。

3.2.3 pH 值

用酸度计实测的矿物包裹体水的 pH 值为 4.09 ~ 6.08,为弱酸性—近中性,但不同矿化阶段成矿流体的 pH 值有差异,早于多金属矿化的石英脉 pH 值平均为 5.73(5.08 ~ 6.08),多金属矿化的 pH 值平均为 4.87(4.09 ~ 5.52),黄铁绢英岩化及硅化毒砂矿化的 pH 值平均为 4.36(4.09 ~ 4.62),辉(铁)锑矿化的 pH 值平均为 4.16(2.59 ~ 5.10),即从早到晚,成

矿流体有从偏中性向偏酸性演化的趋势。

3.2.4 Eh 值

由矿物包裹体成分计算的成矿流体的 Eh 值为 -0.523 V ~ -0.766 V, 表明成矿过程为弱还原条件, 但不同阶段矿化的 Eh 值也有变化: 石英脉平均为 -0.701 V (-0.575 V ~ -0.766 V), 多金属硫化物平均为 -0.635 V (-0.523 V ~ -0.712 V), 蚀变岩型金矿石平均为 -0.616 V (-0.534 V ~ -0.663 V), 辉(铁)锑矿石平均为 -0.589 V (-0.534 V ~ -0.647 V), 可见从早到晚(温度由高到低, 流体从偏中性到偏酸性)还原条件有所减弱, 这和早期发育磁黄铁矿(以 S^{2-} 为特征)、中晚期发育黄铁矿和毒砂(以发育 S^{1-} 为特征)的地质事实相符。

矿物包裹体研究还表明, 成矿流体盐度较低。

4 五龙沟金矿床成矿机理推断

4.1 成矿物源、水源和热源分析

前述本区金矿化与外滩超基性—中性岩浆活动有密切的时间、空间、成分等成因联系, 表明 Au、S、As 等成矿物质主要来自深源岩浆; 蚀变组分 Si、K、Fe 等既有继承原岩组分的某些特点, 化学分析也反映出有明显 K、Si、Fe 带入, 这些带入的组分一部分来自成矿热液对围岩的萃取, 另一部分可能来自深源岩浆。据氢、氧同位素组成推断成矿流体来自岩浆水与大气降水的混合。成矿作用的驱动力是构造动力和岩浆热能, 即五龙沟—石灰沟剪切带等深大断裂和外滩岩浆活动热能的联合作用, 使成矿流体沿断裂由深部上升, 向其旁侧或上部压力小、温度低的构造破碎带运移, 由于降温降压而卸载。这种作用周而复始, 形成了对流循环的成矿系统: 加温加压溶滤围岩中成矿物质的流体 + 深部含矿热流体 → 降温减压沉淀矿质。

4.2 成矿过程推断

主要来自深源岩浆的成矿流体在还原条件下, 其中的金主要呈硫氢络合物形式迁移, 由于此时流体处于 pH 值近于 7 的中性环境, 故此时流体中金的溶解度高(图 4)。

由于成矿流体温度、pH 值、Eh 值的变化及有利地球化学障的存在, 成矿物质发生了沉淀, 在较高温条件下形成了交代成因的夕卡岩; 当温度降低到 500 ~ 300 °C 时, 成矿流体中的 Cu、Pb、Zn、Fe 等达到过饱和, 在夕卡岩中沉淀出黄铜矿、方铅矿等多金属硫化物, 由于此时温度较高、pH 值平均 4.87, Eh 值平均 -0.635 V, 故仅有少量金沉淀, 形成伴生金

矿化。当温度降到 300 ~ 250 °C 时, 围岩中的斜长石、黑云母等与成矿流体作用形成绢云母化、硅化等蚀变并析出 Fe、Ti 等成矿物质。

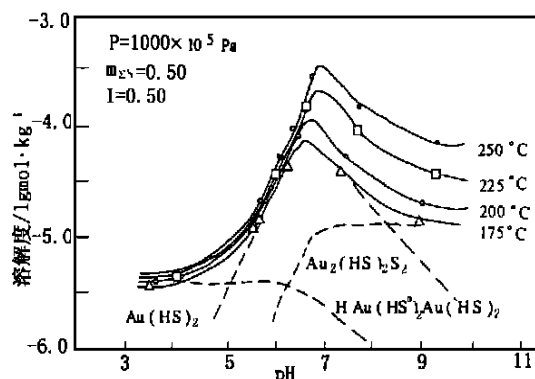
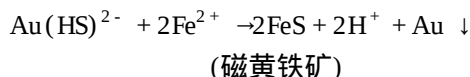


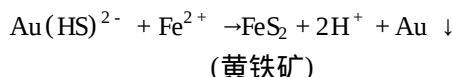
图 4 金的溶解度和主要存在形式与 pH 值关系
(据 Seward, 1984)



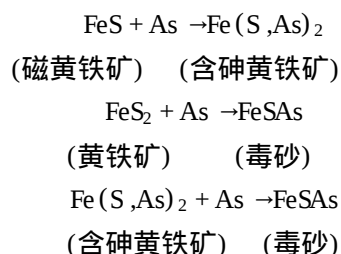
温度下降及绢云母化、硅化使流体酸性的增强均使流体中金的硫氢络合物的溶解度降低, 其中的 S 与蚀变析出的 Fe 结合形成铁的硫化物并使 Au 沉淀下来。开始时由于环境较还原及流体中 S 供应不足, 形成磁黄铁矿。



当含矿流体中有更多的大气降水混合时, 由于氧逸度的增高, 使还原硫减少, 引起更多含金络合物分解, 还原性较小的 S^{1-} 与 Fe^{2+} 结合形成黄铁矿并使 Au 沉淀。



随着流体中 As 的不断加入, 早形成的磁黄铁矿、黄铁矿进而被含砷黄铁矿、毒砂取代。



原岩蚀变析出的 Ti 因不能与 S、As 等化合而呈金红石 (TiO_2) 形式包裹于硫化物中。当温度降到 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 以下, pH 值为 $2.59 \sim 5.10$ 、Eh 值平均 -0.589 V 时, Au 的硫氢络合物的溶解度更小, 在辉锑矿、辉铁锑矿形成的同时有大量 Au 沉淀。

温度更低时, 形成碳酸盐, 此时 Au 的沉淀已基本结束。

4.3 成矿模型

五龙沟金矿区金及多金属矿化的发生受区域地质构造背景和区域岩浆作用控制, 表现出一定的空间分布系列性和时间演化序列性。

自形成陆核基底以来, 本区经历了多期区域构造变形, 在晋宁—加里东基底裂隙过程中深源岩浆活动较为明显, 沿 NW 向裂隙发育中基性—酸性火山岩; 海西期沿昆中断裂的俯冲作用引起区域挤压走滑, 导致石灰沟 NW 向区域韧性剪切带的形成, 沿这些剪切带有明显的动力变质, 并有深成岩 (辉橄岩、榴闪岩等) 的侵位上升及重融岩浆 (钾长花岗岩) 活动, 充分显示了剪切带的深切性控岩历史; 在印支—燕山期沿昆中及昆北断裂区域右行走滑过程中, 石灰沟等韧性剪切带发生脆性复合, 带内及两侧 (特别是上盘) 形成配套的次级张剪性断裂组合, 并在剪切带邻近有超镁铁质、镁铁质深源岩浆演化系列的岩体 (外滩杂岩体) 和岩脉 (枝) 发育, 局部表现隐爆特点形成隐爆角砾岩等; 进入喜山期后, 构造变形则使区内表现近东西向的正断活动, 发生明显的差异隆升, 基岩区岩石遭受风化剥蚀。在这一区域构造演化过程中, 基底裂隙和韧性剪切带的形成构成了后期成矿的主要地质背景, 印支—燕山期的脆性断裂活动及深源岩浆侵位则提供了成矿的必要条件。

矿化特征及矿化期次研究表明: 本区金及多金属矿化具清楚的分带表现, 以外滩杂岩体为岩浆活动中心, 向外依次为 $\text{Cu} - \text{S} - (\text{Au}) \rightarrow \text{Cu} - \text{Pb} - \text{Zn} - (\text{Au}) \rightarrow \text{Au} - \text{As} \rightarrow \text{Au} - \text{Sb}$ 的元素组合分带, 显示了岩浆作用控制成矿系列的分带特征。在整个矿化过程中, 由早到晚成矿的序列演化特征十分明显, 表现从交代成脉—多金属矿化—金矿化—表生氧化的发展过程。

综上所述, 可建立图 5 所示的成矿模型。在这一成矿模型中, 岩浆作用 (浅成脉岩、闪长玢岩)、韧性剪切带及脆性断裂是其核心内容所在, 而对于夕卡岩型矿化, 岩性 (大理岩) 则提供了所必须的条件。需要说明的是, 反映在模型图中的物质组合分带及岩浆岩体、岩脉穿插表现, 实际包括了时空演化序列的因素。

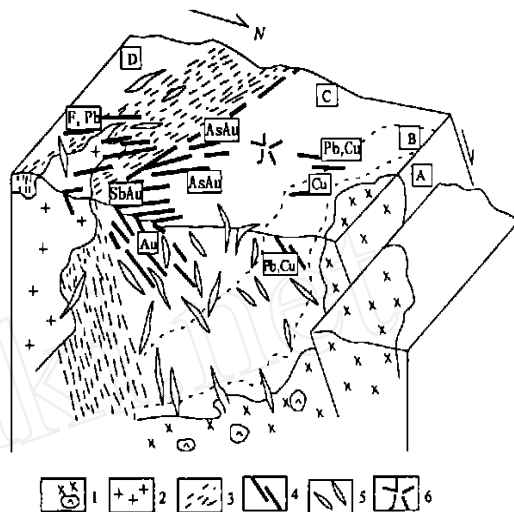


图 5 五龙沟金矿床成矿模型

- 1—外滩杂岩; 2—红石岭花岗岩; 3—五龙沟韧性剪切带;
4—脆性断裂; 5—玢岩脉; 6—隐爆中心;
A—钾硅交代区; B—夕卡岩化多金属矿化区; C—绢英岩化金矿化区; D—萤石多金属矿化区; Pb、Cu—多金属矿体;
Au、As、Sb—金矿体; F、Pb—萤石多金属矿化

本文是集体科研成果的一部分。除作者外, 长安大学的孙继东、刘继庆、苏春乾等同志也参加了科研工作, 本文也倾注着他们的心血。

[参考文献]

- [1] 王鸿桢, 杨森楠, 刘本培, 等. 中国及邻区构造古地理和生物古地理[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1990.
- [2] 青海地矿局. 青海省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [3] 刘英俊. 金的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [4] 姜春发. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [5] 潘裕生, 孔祥儒. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998.
- [6] 常承法, R M Shackleton. 青藏高原地质演化[M]. 北京: 科学出版社, 1990.

MINEROGENETIC MECHANISM AND CONDITION OF WULONGGOU GOLD DEPOSIT IN EAST KUNLUN MOUNTAINS, QINGHAI PROVINCE

LI Hou - min, SHEN Yuan - chao, HU Zheng - guo, QIAN Zhuang - zhi

Abstract: Wulonggou gold deposit in Dulan county, Qinghai province is the most important one in East Kunlun Mountains. The study on its minerogenetic mechanism and conditions is very important. This paper concludes the minerogenetic mechanism and genetic model of the gold deposit by studying its minerogenetic stages and conditions.

Key words: gold deposit, minerogenetic stage, minerogenetic mechanism, genetic model, Wulonggou district in Kunlun mountains