

# 丁家山-古楼山金矿床成矿流体储运规律

刘新会<sup>1</sup>, 刘 爽<sup>1</sup>, 李 渊<sup>1</sup>, 魏宽义<sup>2</sup>

(1. 武警黄金部队 第五支队, 陕西 西安 710100; 2. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 丁家山-古楼山金矿区含金矿源层为上泥盆统南羊山组和下石炭统袁家沟组。组成含金矿源层岩石为高频互层的细碎屑岩-碳酸盐岩, 其中细砂岩、粉砂岩、碳酸盐岩含成矿流体物性较好, 页岩、板岩含成矿流体物性较差。在成矿过程中, 构造变形与成矿流体的形成、运移及储集密切相关。其规律为: 原生构造导致成矿流体的初次聚集; 第一期构造变形导致成矿流体的聚集; 第二期构造变形导致成矿流体运移及金矿床形成, 该期变形是金的主要成矿期; 第三期构造变形使成矿流体进一步聚集和金矿体的富集; 第四期构造变形是石英方解石脉的形成时期。

[关键词] 金矿床; 成矿流体; 容矿层; 构造变形; 找矿方向; 镇安; 陕西省

[中图分类号] P618.510.1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)01-0024-04

## Storage and Moving of Ore forming Fluid of Dingjiashan Gulushan Gold Deposit

LIU Xin hui<sup>1</sup>, LIU Shuang<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>1</sup>, WEI Kuan yi<sup>2</sup>

(1. 5th Gold Geological Detachment, CAPF, Xi'an 710100, Shaanxi, China; 2. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract** The upper Devonian Nanyangshan Formation and lower Carboniferous Yuanjiagou Formation layers are the source rocks of the Jinlongshan Qiuling gold mine. The source rocks are frequent interbedding of fine grained clastic rocks and carbonate rocks. Fine grained sandstones, siltstones and carbonate rocks are better than shales and slates in the sense of physical nature for ore forming fluid. In the metallogenic course, fracturing deformations closely correspond to the formation, storage and moving of the ore forming fluid. The process is: ① primary structures result in the first collection of the ore forming fluid; ② the first fracturing deformation results in the collection of the ore forming fluid; ③ the second fracturing deformation results in the moving and gold deposition of the ore forming fluid; ④ the third fracturing deformation results in the further collection of the ore forming fluid and the enrichment of the gold deposits; ⑤ the fourth fracturing deformation corresponds to the quartz calcite vein.

**Key words:** gold deposit; ore forming fluid; containing ledge; fracturing deformation; prospecting direction; Zhen'an; Shaanxi Province

## 0 引言

秦岭沉积岩区金矿带是扬子板块西北缘“金三角”的主要组成部分<sup>[1-3]</sup>。20世纪80年代末,在丁

家山-马家沟汞锑矿带上,借鉴美国卡林金矿找金经验,重新对汞锑矿带进行找金评价,发现了丁家山-古楼山金矿床。至20世纪末,该矿带开采进入低谷,为了拓展该矿带规模,必然从理论上重新对该地区微细浸染型金矿床进行研究。

[收稿日期] 2005-04-01

[基金项目] 国家经济贸易委员会项目(陕西镇安金龙岗山矿区及外围岩金普查(2001~2004))

[作者简介] 刘新会(1964-),男,陕西澄城人,工程师,从事金矿地质研究。

1 区域成矿背景

丁家山-古楼山金矿区位于镇(安)-旬(阳)盆地金鸡岭级复式向斜北翼之次级褶皱——松枣复式背斜南翼, 镇安-板岩镇断裂南侧(图 1)。按照秦岭沉积岩区划原则, 属留坝-白河沉积小区<sup>[4-5]</sup>。金鸡岭级复式向斜控制着金、砷、锑等异常范围。松-枣 II 级复式背斜控制着金的矿(化)带。丁家山-古楼山 II 级背斜控制着金的矿(化)体。镇安-板岩镇断裂的次级断裂是金矿化体的容矿有利位置。前人研究<sup>[1-5]</sup> 确认, 上泥盆统南羊山组和下石炭统袁家沟组含硫铁、含凝灰质碳质浊积岩系为矿源层。区域地层变质程度较浅, 属绿片岩相。区内未发现岩浆岩。丁家山-古楼山金矿床为大型微细浸染型金矿床。矿石中微细粒黄铁矿、毒砂、辉锑矿等金属硫化物含量极少, 而以围岩成分为主。金矿物以次显微状分布在黄铁矿、毒砂增生环带内或边缘。

2 区域含矿层位岩石物性

研究区内含矿层位岩性主要为细碎屑岩-碳酸盐岩。就其岩石的孔隙度、渗透率、孔隙结构、裂缝密度(或裂缝率)等物性特征作以分析。

2.1 细碎屑岩的物性特征

研究区内细碎屑岩分为泥质页岩、泥质板岩、砂质板岩等粘土层形成的岩石以及泥质粉砂岩、泥质、钙质细砂岩。通过对研究区内碎屑岩中碎屑颗粒的排列方式、颗粒分选性和磨圆度、碎屑的矿物成分、胶结物的多少、类型和成分等方面进行研究

得出: 页岩、板岩颗粒细小, 吸水性较强, 孔隙度小, 渗透性也差, 在沉积初期易吸水及吸附成矿物质。而在压实作用过程中排出水溶液, 形成致密的板岩, 从而成为成矿流体的屏蔽层。砂岩、粉砂岩, 碎屑颗粒细小, 颗粒近于球形且大小近似相等, 分选性、磨圆度较好, 含长石量较少, 胶结物以泥质、泥质-钙质、钙质为主, 胶结类型以基底式为主, 其孔隙度很大, 渗透性较好, 具有很好的储运成矿流体的物性, 成为成矿流体的储运层。

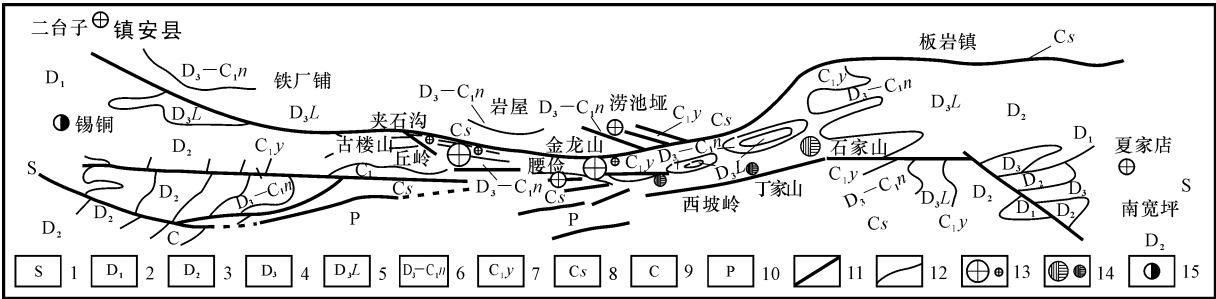
2.2 碳酸盐岩的物性特征

研究区内南羊山组薄层灰岩、袁家沟组中厚层灰岩中溶蚀孔洞、孔隙及裂缝发育。孔隙类型主要有粒间孔隙、粒内孔隙、晶内孔隙、隐蔽孔隙、生长骨架孔隙。多期构造作用使灰岩产生众多裂缝及孔洞, 同时又伴随有高温高压, 使岩石发生重结晶作用。发育的裂缝系统和重结晶作用产生的孔隙, 给地下水的流动创造了条件, 活跃的地下水一方面溶蚀岩石, 另一方面又可促进岩石的白云岩化作用, 而重结晶作用和白云岩化作用的结果又可使岩石变脆, 便于构造裂缝的产生等<sup>[6]</sup>。碳酸盐岩中发育的孔洞及密度极大的裂缝, 易于成矿流体的储运, 成为成矿流体的储运层。

3 成矿流体性质

3.1 流体成分

对矿物流体包裹体成分测定<sup>[7]</sup>, 含金成矿流体液相成分中阳离子为:  $c(K^+ > Na^+)$ , 阴离子:  $c(SO_4^{2-} + CO_3^{2-}) > c(F^- + Cl^-)$ ; 气相成分以  $HO_2$  为主, 次为  $CO_2, CH_4, CO, N_2$ (表 1)。



1 - 志留系; 2 - 下泥盆统; 3 - 中泥盆统; 4 - 上泥盆统; 5 - 上泥盆统冷水河组; 6 - 上泥盆统南羊山组; 7 - 下石炭统袁家沟组; 8 - 四峡口组石炭统; 9 - 石炭系; 10 - 二叠系; 11 - 断裂; 12 - 地质界线; 13 - 金矿床及金矿点; 14 - 汞锑矿床及矿点; 15 - 铅锌矿床; 据武警黄金第五支队修改

图 1 丁家山-古楼山金矿区域地质略图

Fig.1 Simplified Geological Map of the Dingjiashan - Guloushan Gold Deposit

表 1 丁家山-古楼山金矿床成矿流体物理化学参数

物理化学参数	金矿化阶段	
	金龙山	丘岭
$T/^\circ\text{C}$	218~250	216~350
$p/10^5\text{ Pa}$	475	430
$h/\text{km}$	1.9	1.72
$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	0.908	0.945
$w(\text{NaCl})/\%$	5.7	7.85
$M/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	63.78	51.2
还原参数	0.17	0.09
pH 值	5.54	5.48
$\lg[f(\text{CO}_2)]/10^5\text{ Pa}$	10.25	12.44
$\lg[f(\text{O}_2)]/10^5\text{ Pa}$	-40.57	-40.2
$\lg[f(\text{S}_2)]/10^5\text{ Pa}$	-16~-1.5	-15.8~-15
Eh/V	-0.527	-0.509

据武警黄金部队第五支队修改

3.2 成矿流体物理化学参数

表 1 可知, 本区成矿流体物理化学条件为中低温, 中低盐度, 低矿化度, 中偏弱酸性, 低硫逸度还原条件, 具  $\text{K}^+ - \text{Na}^+ / \text{S}^{2-} - \text{HS}^- - \text{HCO}_3^-$  型循环热水性质、矿化作用形成于中等、中浅深度范围特征。

4 丁家山-古楼山金矿床构造变形与成矿流体的储运规律

丁家山-古楼山金矿床控矿构造具有区域分布中浅层次发育的褶皱式脆韧性、韧脆性剪切变形构造特点<sup>[1]</sup>。据其阶段性特点, 可分 4 期构造变形。

4.1 原生构造变形与成矿流体初次聚集

本区原生构造(D<sub>0</sub>)较好地保留下来, 但并未发生构造变形, 只是发生了压实作用。压实作用可导致岩石的静压力与静水压力增大、大量流体排出、温度升高、压力异常区的形成等<sup>[7]</sup>。本区在较大范围内无后期岩浆活动, 可排除岩浆热液来源, 而且古生代沉积地层基本上未遭受变质作用或变质作用极其微弱, 大体上可排除变质水的来源。所以, 成矿流体主要来源于天水下渗。本区在含矿层形成之后, 继续沉积覆盖了二叠系、三叠系厚达 3.5~4.0 km 的巨厚地层。巨厚的覆盖层压在矿源层之上, 使其中的粘土层更易于压缩变形。R N Gins bus 研究认为<sup>[7]</sup>, 在 3 048 m 深度时, 粘土孔隙度可由 80% 降到 8% 左右; 砂质层中碎屑颗粒排列变紧, 而颗粒本身难以压缩; 含泥质少的碳酸盐岩主要因溶解作用而

发生压实<sup>[7]</sup>。由于压实作用, 成矿流体由粘土层向砂质层、碳酸盐岩层运移, 致使后者成为成矿流体的储集层(图 2a)。由于构造运动不发育, 成矿流体温度只受地温梯度影响, 参考相邻华北盆地地温梯度(3.1~3.9) °C/hm, 丁家山-古楼山金矿床在沉积压实期, 矿源层最上层, 地温应为 108.5 °C~156 °C(如考虑镇旬盆地有热水沉积作用, 可能矿源层上地温应更高)。在地表下 3.5~4.0 km, 地温 108.5 °C~156 °C, 压力(430~475)×10<sup>-5</sup> Pa 的环境下, 散布于地层中 Au, S, Fe, As, Sb 等成矿元素溶解于热液中, 形成初期的成矿流体。

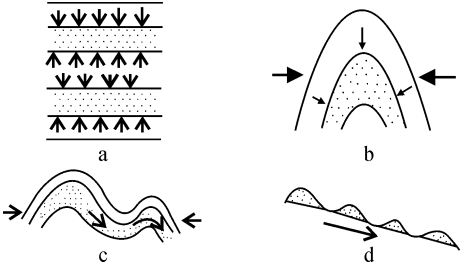


图 2 成矿流体运移规律

Fig. 2 Hint map of the Storage and Moving Regular of Ore forming Fluid

4.2 第一期构造变形与成矿流体聚集

第一期构造变形(D<sub>1</sub>)主要为全区不同时代地层所表现的东向西延伸的卵圆形背向斜。如金鸡岭向斜、松-枣背斜、丁家山-丘岭背斜等轮廓都是在第一变形期奠定的<sup>[1]</sup>。本期变形主要发生了较强地层间滑动, 通常不发生轴面劈理, 其他伴生构造与热事件也较微弱。

在区域水平应力持续挤压下, 背斜内部不同部位构造应力场形成, 在单一背斜轴部中性面以上形成构造应力低压区, 在背斜轴部中性面以下背斜核部形成构造应力高压区。研究认为, 低压区内应力易释放, 使储集层内成矿流体容易流失, 高压区内应力集中, 使成矿流体浓度提高, 溶解度增大, 温度升高, 压力增大, 使成矿流体集中而保留下来<sup>[7]</sup>。同时, 与金相关密切的亲硫元素 As, Sb, Hg 亦同时进入成矿流体, 并使金的溶解度呈对数级增加<sup>[8]</sup>。在弱酸性-近中性还原下, 金以  $\text{H}_2\text{Au}(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_3^0$  和  $\text{H}_2\text{Au}(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_2^-$  杂多核络合物形式迁移<sup>[1]</sup>。在挤压作用下, 同一储集层中成矿流体在应力作用下向背斜核部及两翼运移, 致使松-枣背斜核部聚集了大量成矿流体(图 2b)。复式背斜因同层位成矿流体由高到低运移的规律, 在次级背斜核部应先

充满,如丘岭背斜核部富集有宽厚的金矿化体(图2c)。在一系列相连的背斜中,同层位的成矿流体有由高到低运移的规律。如在丁家山-古楼山成矿带上,由西向东,由高到低分布着古楼山、丘岭、腰俭、金龙山、丁家山等背斜,同一储集层中的成矿流体势必要由西向东运移,当最东边的背斜充填满之后,才由溢出点向相邻更高的背斜充填,依次递增。这样最东边的背斜应最先充满,成矿流体也应最为丰富,而最西边的背斜可能因成矿流体量的减少而未能充满甚至有可能未充填成矿流体。这样越往东越易成矿,甚至成大矿成富矿(图2d)。已发现东部金龙山背斜内赋存有较好的矿化体,而最西边古楼山背斜内至今未发现金矿化体,这种现象有力地支持了笔者的观点。

#### 4.3 第二期构造变形与成矿流体运移及金矿床形成

第二期构造变形( $D_2$ )是在第一期直立宽缓的背斜基础上,进一步紧闭形成剪切短轴背斜,背斜核部轴面劈理发育,层间滑动明显,这些构造微裂隙形成应力释放区,是成矿物质沉淀的极好场所。因压力、温度升高,可导致成矿流体溶解度增高,矿液量进一步聚集,形成压力异常区。储集于具高渗透性细碎屑岩中含金的锑砷硫络合物组成的成矿流体,在高压作用下向剪切褶皱带背斜核部的劈理、层间滑移面等裂隙渗透,由于压力迅速下降,化学势随之降低,相应引起了一系列物理化学条件的改变,尤其是硫化物大量沉淀引起硫活度的降低,是导致金沉淀最有效的机制。由于金是以锑砷硫杂多核络合物形式迁移,一旦络合物含金络阴离子团解体,则自然形成自然金、含砷黄铁矿、毒砂等共生的金矿体。另外发生于背斜翼部的韧性剪切带,若切穿了背斜中成矿流体储集层,因应力释放,致使成矿流体运移到这些低压低温区而沉淀成矿。此期变形是金的主要成矿期。

#### 4.4 第三期构造变形与成矿流体进一步聚集和金矿体的富集

第三期构造变形( $D_3$ )是在第二期构造作用基础上持续发展的结果,此期变形主要表现为膝折带与破劈理发育。成矿流体在构造应力作用下再次运移到膝折带、破劈理等应力释放部位而沉淀,使金元素进一步富集。金的主要载体含砷黄铁矿的增生环带具有多圈层的现象,说明了Au、As、S、Fe等元素是经过多期次沉淀形成。也证实了有经济

价值的工业矿体大部分都是经过多期次地质作用的复合、叠加与改造形成的<sup>[9]</sup>。

#### 4.5 第四期构造变形与似碧玉岩-方解石脉的形成

第四期构造变形( $D_4$ )以脆性断层和节理为主,形成断层张裂带、节理带、角砾岩化带,带内充填似碧玉岩-方解石脉。由于先期金-砷矿化元素已基本消耗殆尽,造成晚期矿化与蚀变矿物组合含金性差。此时,成矿流体富含硫-锑等成矿组分,在地壳浅部,温压不高,酸性介质和氧化环境条件下,析出辉锑矿、黄铁矿及少量辰砂。

### 5 结语

按照成矿流体的形成、运移、赋存规律,总结丁家山-古楼山金矿床成矿模式为:

(1)丁家山-古楼山金矿床在中一晚古生代沉积了富含成矿物质的上泥盆统南羊山组一下石炭统袁家沟组细碎屑岩-碳酸盐岩地层,之后在印支期南北向挤压作用下,形成了宽缓的鸡岭复式向斜,成矿流体得以聚集在次级背斜核部。

(2)进一步挤压变形后,形成了东西向为主的剪切褶皱,同时成矿流体运移到应力释放区一剪切褶皱带,形成金矿床。

(3)局部进一步挤压变形导致成矿流体的多次运移,金元素多次富集成矿。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张复新,魏宽义,马建秦,等.南秦岭微细浸染型金矿床地质与找矿[M].西安:西北大学出版社,1997.
- [2] 刘宝.东秦岭柞水-镇安地区泥盆纪沉积环境和沉积盆地演化[J].沉积学报,1990,8(4):11-13.
- [3] 陈毓川,李兆鼎,毋瑞身,等.中国金矿床及其成矿规律[M].北京:地质出版社,2001.
- [4] 刘新会,刘爽,曹东宏,等.构造式样组合对卡林型金矿含矿热液封存的控制[J].地质找矿论丛,2003,8(增刊):32-35.
- [5] 张复新,杜孝华,王伟涛,等.秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应[J].地质科学,2004,39(4):486-495.
- [6] 张复新,肖丽,齐亚林.卡林型-类卡林型金矿床勘查与研究回顾及展望[J].中国地质,2004,31(4):406-410.
- [7] 吕古贤,韦昌山,郭涛,等.胶东矿集区金矿成矿地质事件研究初探[J].黄金地质,2004,10(2):1-6.
- [8] 魏宽义,刘淑文.马鞍山金矿控矿构造规律及成矿预测[J].西安工程学院学报,2001,23(1):20-24.
- [9] 刘淑文,魏宽义,王瑞腾.镇安二台子金矿控矿规律研究与盲矿体预测[J].西安工程学院学报,2001,23(3):11-14.