

文章编号: 0258-7106 (2002) 03-0278-05

# 山西义兴寨金矿床金矿物颗粒的产出及其成矿动力学意义\*

叶 荣<sup>1,2</sup> 涂光炽<sup>1</sup> 赵伦山<sup>2</sup> 沈镛立<sup>2</sup> 罗 丽<sup>3</sup>

(1 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2 中国地质大学, 北京 100083;

3 成都理工大学, 四川 成都 610059)

**摘 要** 山西义兴寨金矿床的金主要呈包体金和裂隙金两种产出状态。文章根据成矿地球化学动力学理论, 论证了金元素在含矿断裂发生脆性破裂和脆-韧性扩张活动中析出的化学反应类型, 以及受反应动力学条件的制约, 形成矿石中金不同产出状态的规律。指出热液矿床中普遍存在的包体金为热液成矿早期阶段断裂发生脆性破裂和成矿流体沸腾, 导致快速反应结晶的产物; 而裂隙金和晶隙金为成矿晚期金等矿质在流体中残余富集, 同时成矿断裂再次发生脉动破裂, 即成矿热力学演化与有利的构造动力学因素耦合作用的结果。得出金矿物颗粒的产出状态具有成矿动力学意义的结论。

**关键词** 金产出状态 包体金 裂隙金 构造动力学环境 热液金矿床

**中图分类号:** P618.51

**文献标识码:** A

矿物和矿石的结构构造历来受到地质学界和矿床学界的高度重视, 并作为反映成矿成岩条件的重要标志进行描述和研究。Ranmdohr (1975) 最先认识到矿石的结构和交生现象与成矿动力学因素有关, 并提出应用理论力学和晶体生长动力学进行研究的新思路。对于热液金矿床中包体金和裂隙金等多种产出状态及其与载金矿物之间的关系问题, 国内外大量的矿床学文献中都进行了研究和讨论。王奎仁等(1994)应用离子探针、透射电镜等高精设备, 对中国卡林型金矿床中金的赋存状态及微粒金的形貌特征进行了系统的研究, 提出卡林型金矿中与黄铁矿等硫化物共生的“包体金”, 可划分为呈包裹体存在于晶体内部的次显微金和以显微金矿物(自然金、铂金矿、汞金矿等)形式沉淀于载金矿物表面的显微可见金两种赋存形式。随着现代观察技术的改进和提高, 有关热液矿床金产出状态的观测资料得到了进一步的丰富, 对它的认识也有了很大的提高。本文仅就山西义兴寨金矿床包体金、晶隙金和裂隙金形成的热力学机制和代表的成矿动力学环境进行探讨。

## 1 义兴寨金矿床地质地球化学特征

义兴寨金矿位于晋东北恒山山脉中段南麓, 矿床产于中生代构造岩浆带中, 为一与中性岩浆活动有成因关系的脉状金矿床。该矿金矿化分为南、北两区: 即义兴寨矿区和辛庄矿区, 两矿区沿近 SN 向构造发育 20 余条含金石英脉, 图 1 为义兴寨金矿田地质图。矿床区域变质地层主要为中下太古界恒山杂岩、上太古界五台群和下元古界滹沱群。近矿围岩是恒山杂岩中的变闪长岩-黑云斜长片麻岩和长英质片麻岩。矿区内岩浆活动主要为中生代(燕山早期)中酸性岩浆侵入, 其中与矿化有关的有: ①酸性次火山岩; ②以闪长岩为主体的侵入杂岩——孙庄闪长岩体。义兴寨金矿床产于孙庄岩体的北西侧, 岩体和矿体均受早燕山期义兴寨断裂控制。义兴寨矿田基底构造为 NEE 向复背斜构造, 与岩浆岩和金矿化直接有关的是早燕山期断裂构造, 分为 NW 向、NNW 向两个系列。区域上一组 NW 向断裂发育, 具张剪性正断层性质, 其中多数充填各种脉岩; 在本矿田以义兴寨断裂和龙山断裂为代表, 两条

\* 本文由国家自然科学基金(项目号: 49773192)项目资助

第一作者简介 叶 荣, 女, 1956 年生, 博士后, 地球化学专业。

收稿日期 2001-07-09; 改回日期 2002-01-04。李 岩编辑。

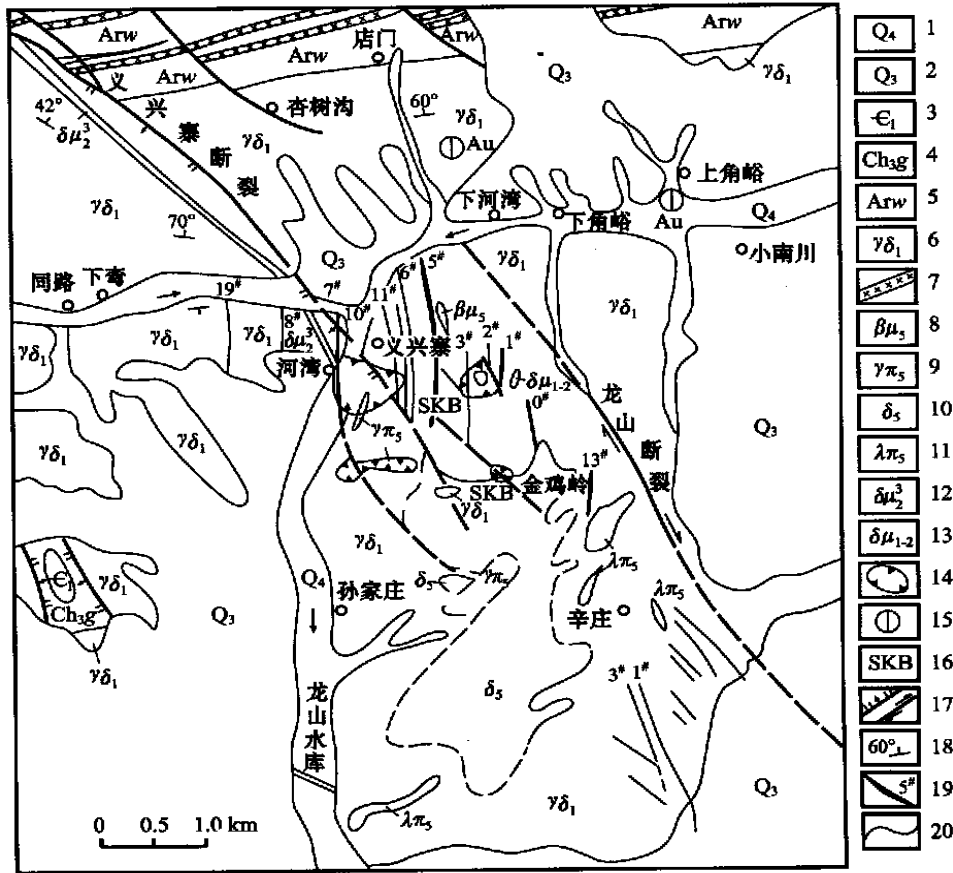


图 1 山西义兴寨金矿田地质略图(据山西省地矿局 211 地质队,1985)

1—第四系冲、洪积层；2—第四系黄土、亚砂土；3—寒武系下统毛庄-馒头组；4—长城系高于庄组；5—五台超群金刚库组；6—斜长片麻岩夹变粒岩；7—磁铁石英岩；8—闪长玢岩脉；9—似斑状花岗岩；10—孙庄闪长杂岩体；11—超浅成相酸性岩；12—辉绿岩；13—变基性岩；14—隐爆角砾岩筒；15—金矿点；16—夕卡岩化隐爆角砾岩；17—实测和推测断层；18—片麻理；19—含金石英脉；20—地层界线

Fig. 1 Generalized geologic map of the Yixingzhai gold orefield

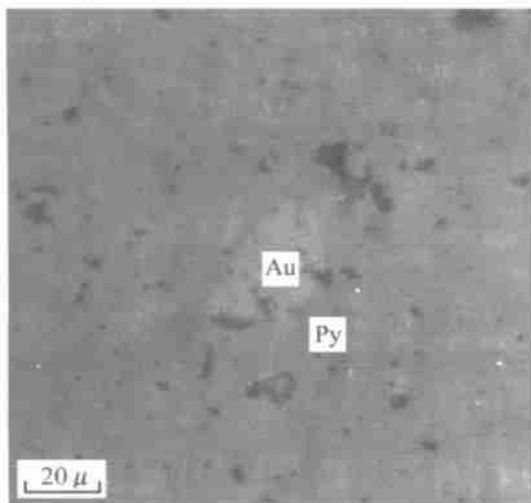
1—Quaternary alluvium and proluvium; 2—Quaternary loess and subsand; 3—Lower Cambrian Maozhuang-Mantou Formation; 4—Gaoyuzhuang Formation of Changcheng System; 5—Jinganku Formation of Wutai Supergroup; 6—Plagiogneiss with leptynite; 7—Magnetite quartz rock; 8—Dioritic porphyrite dike; 9—Porphyroid granite; 10—Sunzhuang dioritic complex; 11—Superhypsabyssal acid rock; 12—Diabase; 13—Metabasite; 14—Cryptoexplosion breccia pipe; 15—Gold spot; 16—Skarnization cryptoexplosion breccia; 17—Fault and inferred fault; 18—Gneissosity; 19—Gold-bearing quartz vein and serial number; 20—Stratigraphic boundary

断裂发生走滑运动,其间形成一组近SN向的张性裂隙,为义兴寨和辛庄金矿的主要容矿构造(图1)。

金矿体由含黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等硫化物的石英脉构成。矿脉两侧围岩发生绢云母化、绿泥石化等蚀变。成矿过程可划分为:I.含浸染状黄铁矿石英脉,II.块状黄铁矿石英脉,III.多金属硫化物脉和IV.石英-碳酸盐脉4个成矿阶段。根据构造活动差应力值 $\Delta\sigma$ 测量统计和矿石结构构造与穿插关系证据,每个成矿阶段又可以划分为脆性破裂和脆-韧性扩张两种构造动力学环境(叶荣等,1997),如I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>、II<sub>1</sub>、II<sub>2</sub>等亚阶段。

## 2 金矿物颗粒的产出状态

义兴寨金矿床金主要以独立矿物形式产出。金矿物有自然金和Au-Ag系列矿物银金矿,其化学成分列于表1。金矿物呈粒径为 $n \times 10^{-3} \sim n \times 10^{-2}$  mm的次显微金,形态复杂多样,有粒状、片状、树枝状和细脉状等。金矿物主要以包体金、裂隙金、晶隙金的形式产于黄铁矿中,此外还产于方铅矿、黄铜矿和脉石矿物石英中。矿床I到III成矿阶段均有金矿物生成,但以II和III阶段为金的主成矿阶段,第II阶

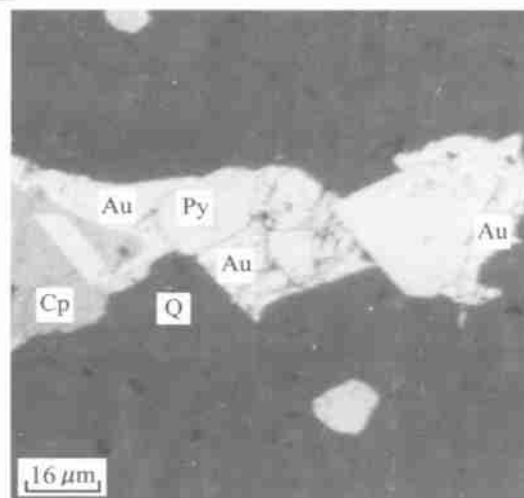


照片1 块状黄铁矿矿石中的包体金  
义兴寨金矿床, II<sub>1</sub>亚期。反光显微镜, 单偏光。

Au—自然金; Py—黄铁矿

Photo. 1 Inclusion form of gold in massive pyrite ore

Au—Natural gold; Py—Pyrite



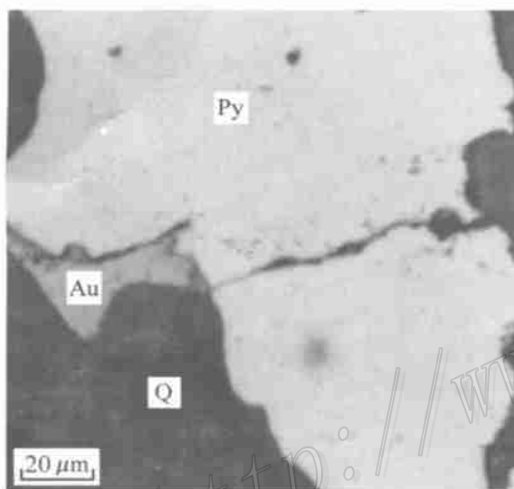
照片2 多金属矿石中的晶隙金

义兴寨金矿床, III<sub>2</sub>亚期。反光显微镜, 单偏光

Au—自然金; Py—黄铁矿; Cp—黄铜矿; Q—石英

Photo. 2 Crystal-boundary gold grains in polymetallic ore

Au—Natural gold; Py—Pyrite; Cp—Chalcopyrite; Q—Quartz



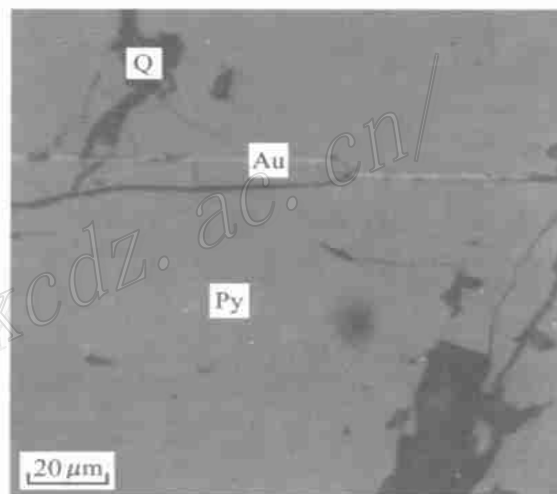
照片3 黄铁矿矿石中的裂隙金

义兴寨金矿床, III<sub>1</sub>亚期。反光显微镜, 单偏光

矿物代号同照片2

Photo. 3 Au-mineral grains along fractures in pyrite ore

Mineral abbreviations are same as Photo. 2



照片4 黄铁矿矿石中的裂隙金

义兴寨金矿床, III<sub>1</sub>亚期。反光显微镜, 单偏光

矿物代号同照片2

Photo. 4 Au-mineral grains along fractures in pyrite ore

Mineral abbreviations are same as Photo. 2

段主要以裂隙金形式产出, 形成富矿石。

(1) 包体金: 包体金产出于第 I、II 成矿阶段, 主要集中于 II 阶段块状黄铁矿型矿石中, 在浸染状黄铁矿中也有产出, 但不构成工业品位矿石。金矿物为自然金, 呈浑圆粒状, 被包裹于黄铁矿中(照片 1), 粒径一般小于  $n \times 10^{-3}$  mm, 个别大颗粒可达  $n \times$

$10^{-2}$  mm。

(2) 裂隙金和晶隙金: 裂隙金和晶隙金产出晚于包体金, 主要产于 II、III 成矿阶段块状黄铁矿矿石和多金属矿石中(照片 2、3 和 4)。金矿物为自然金和银金矿, 颗粒形态不规则, 有片状、树枝状、细脉状、粒状等, 粒径在  $n \times 10^{-3} \sim n \times 10^{-2}$  mm。金矿物

表 1 义兴寨金矿床金矿物电子探针分析结果

Tabl 1 Electron microprobe analyses of gold minerals in the Yixingzhai gold deposit

矿物	产状	$w_b/\%$														
		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Te	Fe	Co	Ni	S	Al	Si	合计
自然金	包体金	92.88	5.01	0.04	0.07	0.18	0.06	0.36	0.16	0.00	0.19	0.00	0.00	0.21	0.72	100.03
自然金	裂隙金	93.49	0.86	0.29	0.69	0.24	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.16	100.01
银金矿	裂隙金	82.61	15.02	0.72	0.06	0.22	0.26	0.00	0.20	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	100.07

分析单位:中国地质大学(北京)电子探针室;测定仪器:JEOL Super Probe 733;测定人:赵磊。

主要产于黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、石英的微裂隙中;部分产于上述矿物晶隙间,依裂隙、晶隙的形态而取其形,也见有金矿物呈脉状沿破碎的早期黄铁矿等颗粒周边分布。

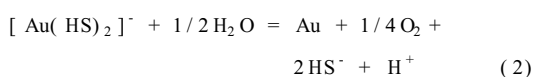
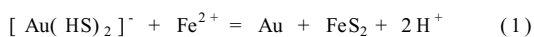
### 3 金矿物的化学成分

表 1 中给出了义兴寨金矿中两种主要形态金矿物的化学成分。自然金和银金矿成分中除 Ag 外,还含杂质元素 Cu、Pb、Zn、As、Te、Sb 和 Al、Si 等。由表可见,裂隙金中 Cu、Pb、Zn、As 等杂质元素的含量高于包体金,表明呈不同产出形式的金矿物的微量元素成分反映其流体环境中杂质元素浓度的变化。这一事实与成矿元素 Au、Cu、Pb、Zn 等在热液成矿演化过程中,具有向晚期残余富集的规律相吻合(叶荣等,1999)。

### 4 金矿物颗粒产出状态的成矿动力学意义

热液成矿作用是成矿流体在一定的地质构造环境中演化的过程,成矿反应体系在降温降压条件下沉淀出各种矿物,体系演化进程的热力学性质受构造动力学环境控制。

义兴寨金矿床控矿构造的动力学条件,可划分为容矿张剪性断裂的脆性破裂和构造脆-韧性扩张两种动力学状态(叶荣等,1997);在热液成矿作用中,金以不同赋存状态析出的成矿反应,也与控矿构造断裂动力学环境有关。据项目前期研究和实验证明(叶荣等,1997;赵伦山等,1998),义兴寨金矿成矿反应体系中,金通过下列反应从热液中析出:



赵伦山等(1998)指出,矿石中金的产出状态由成矿反应体系条件决定。反应(1)为富 Fe 环境,金的析出形式为包体金与黄铁矿共生,自然金以细粒包裹体形式产于黄铁矿中;反应(2)为形成裂隙金和晶隙金的反应。根据义兴寨金矿早燕山期 NW 向张剪性控矿断裂活动的性质,每一次构造热液脉活动都以脆性破裂方式开始,如 I<sub>1</sub>、II<sub>1</sub>、III<sub>1</sub> 时代;构造爆发式的张性破裂作用,导致成矿流体体系的突然降温和减压,热液流体发生沸腾,各种成矿反应快速进行,结晶出细粒致密块状黄铁矿矿石(叶荣等,1997;赵伦山等,1998),反应(1)同时发生;快速结晶形成的显微-亚显微颗粒的自然金与黄铁矿同时沉淀,并被包裹于其中。由于两种矿物近于同时结晶,包体金与黄铁矿之间没有交代溶蚀现象。矿石中大量块状黄铁矿产出的事实证明,义兴寨金矿床成矿反应体系为一富硫体系。第 II<sub>1</sub> 时代块状黄铁矿石英脉亚阶段,体系中元素 Fe 充分,有利于反应(1)向右进行,构成包体金矿化的主成矿阶段。

裂隙金和晶隙金的形成晚于包体金,主要集中在第 III 成矿阶段,即多金属矿石成矿阶段。根据构造差应力值  $\Delta\sigma$  测量,本区控矿构造演化总体上有从早到晚脉动衰减的趋势(叶荣等,1997)。在 III<sub>1</sub> 时代发生的脆性破裂作用,表现为第 II 阶段形成的块状黄铁矿矿石的碎裂和微细裂隙的形成,以及残余富金热液的贯入(照片 3、4)。同时在控矿构造脆-韧性扩张的 III<sub>2</sub> 时代发育地段,由于成矿体系缓慢降温、降压,各种成矿反应缓慢进行,结晶出粗大不等粒、多种矿物共生的斑杂状构造矿石(照片 2)。在第 III 成矿阶段,由于热液体系主要组分 SiO<sub>2</sub>、FeS<sub>2</sub> 在 I 和 II 矿化阶段已从溶液中析出,使 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 残余富集,富金热液伴随控矿断裂脆-韧性扩张,除贯入先期形成的矿物裂隙形成裂隙金外,还可以晶隙金形式沉淀在同时生成的 Cu、Pb、Zn 硫化物晶隙间(照片 2),形成金矿床第 III 矿化阶段的多金属富金矿石。赵伦山等(1998)通过模拟合成含金黄铁矿实

验及热液中金的富集机制热力学研究确认:成矿反应体系中,成矿演化早期只有一部分金形成包体金与黄铁矿共生析出;裂隙金和晶隙金的形成与含金热液残余富集作用有关。在成矿热力学演化中,越有利于金在残余热液中富集,在成矿晚期则形成越大规模的金富矿石。他的研究结果在本文对义兴寨矿床金产出状态的研究中得到了验证。

## 5 结 论

(1) 义兴寨金矿床金主要以独立矿物形式产出。金矿物有自然金和银金矿。

(2) 金矿物主要以包体金、裂隙金、晶隙金的形式产于主要载金矿物黄铁矿、方铅矿、黄铜矿和脉石矿物石英中。

(3) 金通过两组成矿反应沉淀析出。热液成矿中以不同赋存状态产出的金矿物颗粒,受矿床控矿构造张剪性断裂活动的动力学条件控制:早期脆性破裂动力学条件,形成块状黄铁矿矿石中的包体金;晚期脆性破裂和脆-韧性扩张条件,形成多金属矿石中的裂隙金和晶隙金。金矿物颗粒的产出形式,反映了成矿构造动力学环境,具有成因意义。

(4) 富金矿石的形成,为成矿晚期金等元素在流体中残余富集,同时成矿断裂再次发生脉动,即成矿热力学演化与有利的构造动力学因素耦合作用的结果。

## References

- Ranmdohr P. 1986. The ore minerals and their intergrowth. Heidelberg [M]. Xie Y P, He Y X, Li G S, et al, translated into Chinese. Changchun: Changchun College of Geol. Press. 44 ~ 110 (in Chinese).
- Wang K R, Zhou Y Q, Sun L G, et al. 1994. Study on the gold occurrences form of several typical carlin-type gold deposits in China [M]. Hefei: Pub. House of Univ. of Sci. & Tech. of China. 40 ~ 63 (in Chinese).
- Ye R, Zhao L S, Shen Y L, et al. 1997. Study on geological-geochemical dynamics of ore-formation of Yixingzhai gold deposit[J]. Geoscience, 11(1): 58 ~ 65 (in Chinese with English abstract).
- Ye R, Zhao L S and Shen Y L. 1999. Geochemistry features of Yixingzhai gold deposit in Shanxi Province[J]. Geoscience, 13(4): 415 ~ 418 (in Chinese with English abstract).
- Zhao L S, Chen Y L and Y R. 1998. Synthetic experiments of gold-bearing pyrite and the ore-forming of gold in hydrothermal process [J]. Earth Sci. Frontiers, 5(2): 301 ~ 310 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- Ranmdohr P. 1986. 金属矿物及其共生[M]. 谢宇平, 贺义兴, 李高山, 等译. 长春: 长春地质学院出版社. 44 ~ 110.
- 王奎仁, 周有勤, 孙立广, 等. 1994. 中国几个典型卡林型金矿床金的赋存状态研究[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社. 40 ~ 63.
- 叶荣, 赵伦山, 沈铺立, 等. 1997. 义兴寨金矿成矿作用地质地球化学动力学研究[J]. 现代地质, 11(1): 58 ~ 65.
- 叶荣, 赵伦山, 沈铺立. 1999. 山西义兴寨金矿床地球化学研究[J]. 现代地质, 13(4): 415 ~ 418.
- 赵伦山, 陈岳龙, 叶荣. 1998. 含金黄铁矿的模拟合成实验及热液中金富集机制[J]. 地学前缘, 5(1~2): 301 ~ 310.

## Modes of Occurrence of Au mineral Particles in Yixingzhai Gold Deposit and Their Metallogenic Dynamic Significance

Ye Rong<sup>1,2</sup>, Tu Guangzhi<sup>1</sup>, Zhao Lunshan<sup>2</sup>, Shen Yongli<sup>2</sup> and Luo Li<sup>3</sup>

(1 Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

## Abstract

There are two kinds of Au-mineral particles in the Yixingzhai hydrothermal gold deposit of Shanxi Province, namely inclusions in pyrite and mineral grains along fractures. This paper deals with the chemical reactions leading to the precipitation of the two kinds of gold and the controlling roles played by the tectonic-dy- (下转第 303 页)(to be continued on p.303)

- 夏湘蓉, 等. 1980. 中国古代矿业开发史[ M]. 北京: 地质出版社.  
薛步高. 1998. 论澜沧老厂银铅多金属矿床成矿特征[ J]. 矿产与地  
质, 12(1): 26 ~ 32.  
一冰. 1972. 唐代冶银术初探[ J]. 文物, 6.  
云南省地方志编纂委员会. 1997. 云南省志卷四, 地质矿产志[ M].  
昆明: 云南人民出版社.  
《中国矿床发现史》云南编委会. 1996. 中国矿床发现史·云南篇  
[ M]. 北京: 地质出版社.  
张 良. 1994. 姚安老街子银铅锌矿床地质特征及银的赋存状态  
[ J]. 西南矿产地质, 8(3 ~ 4): 23 ~ 31.

## Studies of Historical Data Concerning Exploitation of Silver (Lead)-Zinc Deposits in Yunnan Province and Some Opinions on Further Mineral Exploration

Xue Bugao

( Yunnan Bureau of Village and Township Enterprises , Kunming 650011 , Yunnan , China)

Wu Liangshi

( Institute of Mineral Resources , CAGS , Beijing 100037 , China)

### Abstract

Yunnan is one of the provinces in China where the exploitation of silver , lead and zinc deposits was started fairly early with abundant historical data accumulated . From the angle of the historical data , this paper describes the general conditions of ancient silver , lead and zinc exploitation , the basic characteristics of these ancient mines , and measures suggested for protection and inheritance of such abundant historical legacy . Some opinions on further mineral exploration have also been put forward based on the analysis of the current situation of historical data studies and the checking up of ancient mining sites .

**Key words:** ancient mining site , historical data , silver-lead-zinc , Yunnan

( 上接第 282 页)( Continued from p.282)

namic conditions in the ore-forming processes along ore-bearing fractures . The activities of ore-controlling fracture during hydrothermal mineralization can be divided into two stages: brittle splitting stage and brittle-tough tension stage , which created different geodynamic conditions for the metallogenic geochemical thermodynamic system . At the early brittle splitting stage the system was strongly supersaturated and unequilibrated by fluid boiling , which quickened and enhanced the crystallization of ore elements and gold precipitates as "inclusion" form gold in pyrite ; at the late brittle-tough tension stage , the ore-forming system was in a weakly supersaturated state , and with the gradual decrease of the temperature and pressure , the crystallization of ore materials became slow and the gold precipitated from residual solution in late tectonic microfractures . It is therefore concluded that the difference in modes of occurrence of Au-mineral particles in ores has metallogenic dynamic significance .

**Key words:** modes of occurrence of Au-mineral particles ; "inclusion" form of gold ; Au-mineral grains along fractures ; tectonic-dynamic conditions ; hydrothermal gold deposit