

山西东峰顶金矿床地质特征 及成矿模式探讨

曾 健 年

(中国地质大学·武汉)

东峰顶金矿床成矿过程经历了热液期和表生富集期。矿石品位与氧化程度有关。矿质来源于燕山晚期岩浆活动触发的华北地台基底含金矿源层。它属于中温岩浆热液型矿床。区域构造派生的近南北向断裂,控制着金的定位。文中还探讨了成矿模式和找矿方向。

关键词: 山西省; 东峰顶金矿床; 热液期; 表生富集期; 成矿模式

山西省东峰顶金矿床是近年在该区发现并进行开采的一个新矿床。矿区外围仍不断有新的矿化点发现。总结其成矿地质特征、探讨其成矿模式,将有助于晋南塔儿山—二峰山一带金的普查找矿。

地质背景

研究区位于华北地台汾渭地槽系中部转折处,临汾断裂次级塔儿山—二峰山隆起的西部。区内出露较广的地层有中上奥陶统碳

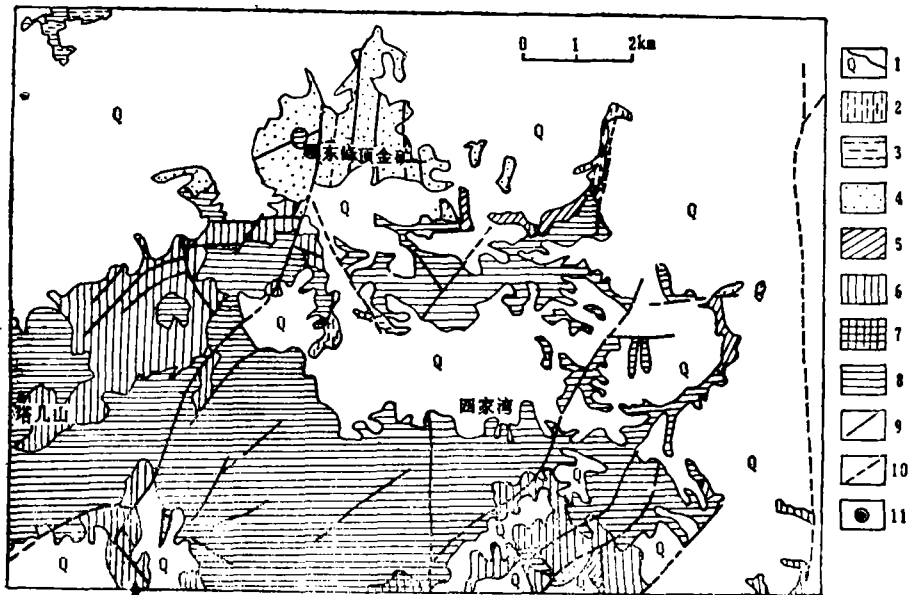


图 1 区域地质略图

1—第四系; 2—第三系; 3—三叠系; 4—二叠系; 5—石炭系; 6—奥陶系; 7—太古宙变质捕虏体; 8—燕山期钙碱性—碱性岩浆岩; 9—断裂; 10—推测断裂; 11—金矿床

酸盐岩建造、石灰系海陆交互相含煤建造、二叠系—三叠系陆相碎屑岩建造(图1)。

区内主要构造为呈X型分布的北东、北西向两组扭性断裂,和一系列近南北向的压扭性断裂。根据区域地质分析^[3],上述构造均属区域构造的派生断裂。沿X型断裂,可见金矿化,但其强度和规模远不如南北向断裂。近南北向断裂规模大小不等,具多次活动的特征。沿这组断裂可见正长斑岩岩脉侵入。它控制着区内金矿体的形态和展布方向,东峰顶金矿即产于其中。区域地质特征及断裂中金含量的研究表明,X型断裂为导矿构造,近南北向断裂是金矿化的主要定位构造。

区内岩浆活动强烈,以南部岩浆岩分布最广。24个各类岩浆岩样品的钾氩法同位素年龄值为0.8~1.4亿年(据中科院、地科院等资料),结合地质证据分析,岩体的形成时代应为燕山晚期。按接触关系,主要岩浆岩的形成先后为:闪长岩类→二长岩类→正长岩类→脉岩类。与世界同类岩浆岩的平均化学成分(R.W.Lemaitre,1976)比较,具有富碱、贫钛、贫铁镁的特征。岩浆岩的金丰度(ppb):闪长岩类6.26,二长岩类6.27,正长岩类1.08,均明显高于世界同类岩石的金丰度(蒂林等,1972)。有资料认为^[2],岩浆富碱、贫镁铁不利于金在岩浆结晶阶段进入固相,表明侵位岩浆金含量较高时,易于保留在残余岩浆中,而转入后期热液。

与区内金矿化有关的是正长岩岩体,出露面积约0.08km²,主要由斑状正长岩和正长岩构成。岩相学研究表明,两种岩石系结晶分异的结果,斑状正长岩是分异晚期的产物。与区域岩浆岩相比,矿区岩浆岩Al₂O₃明显偏高(19.09~20.58%)。据有关文献^[1],火成岩的Al₂O₃/TiO₂值可揭示岩体与成矿的关系。本区与成矿关系密切的岩体Al₂O₃/TiO₂值较高(图2),表明矿区正

长岩体富含硅铝壳物质——基底矿源层物质富集——与金矿化关系密切。

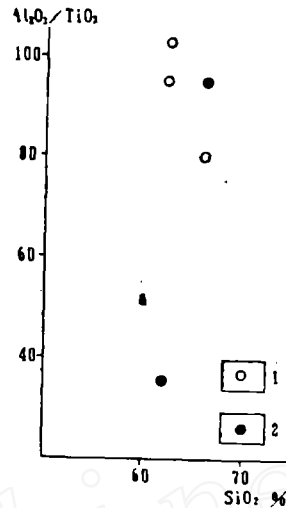


图2 东峰顶矿区岩体与区域岩浆岩的Al₂O₃/TiO₂值
1—矿区岩体,2—区域岩浆岩

矿化特征

本矿床的矿体主要产于断裂构造破碎带内,矿体的规模、形态和产状严格受断裂构造控制。

1. 控矿断裂的空间展布特征

以控制1号主矿脉的近南北向断裂为例(图3),该断裂北起柏树坟沟,南至八孔窑梁,长约3000m,向南为黄土覆盖,钻探追索有继续延伸的趋势。断裂的倾向变化较大,北部向东倾,中部向西倾,南部又转向东倾。倾角较陡。断裂形成的破碎带有明显的膨缩、分支复合现象。膨大部位宽3~7m,最宽达19m;缩小部位宽1~2m。沿断裂破碎带程度不同地发育有动力变质岩。先期形成的动力变质岩多被后期的构造活动进一步碎化,表现了断裂多次活动的特征。

2. 矿体特征

金矿化沿断裂破碎带虽普遍,但金含量变化较大。沿工业矿体倾向金含量的稳定性

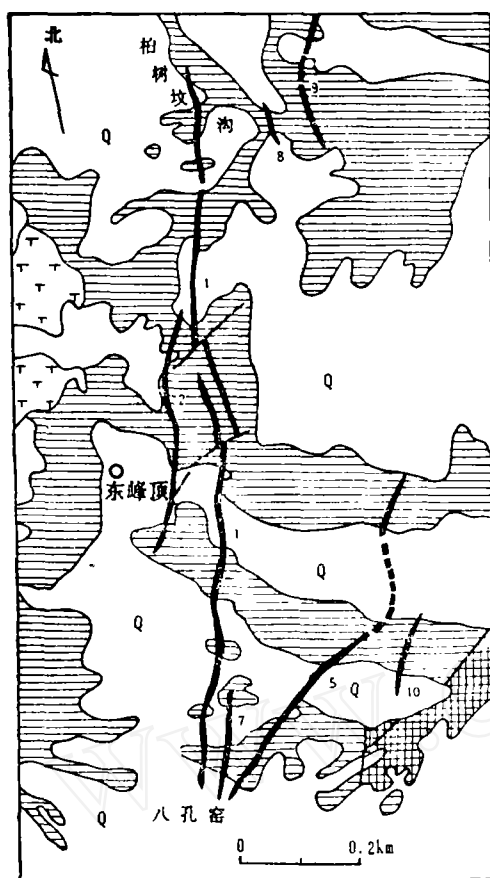


图3 矿区地质略图

1—第四纪黄土；2—二叠纪碎屑岩；3—石炭纪砂岩；4—正长岩岩体；5—金矿体及其编号；6—非矿化断裂

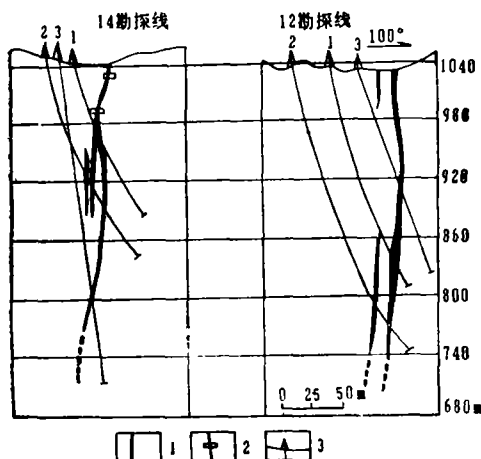


图4 12和14号勘探线剖面图

1—金矿体；2—沿脉坑道；3—钻孔及编号

大于走向。由图4可见，尽管矿体在局部有膨缩，但总体比较规则，属于单脉状矿体。最大厚5m，最小0.22m，一般0.5m。工程控制斜深近300m，未到底。

矿体主要由含金石英脉、含金重晶石脉和含金褐铁矿脉组成。多数情况下，这些脉体在破碎带中交织在一起。有时可见一种脉体为主，其他脉体发育较差。根据穿插关系，石英脉可分3期：早期为烟灰色石英脉，含金性最好；二期为灰色、半透明石英脉，含金较差；三期为乳白色石英脉，不含金。重晶石脉可分两期：褐黄色含褐铁矿重晶石脉含金性好于纯白色重晶石脉。上述两种脉体一般宽数至数十厘米，长数十厘米至数米。含金褐铁矿脉与前两种脉体交织在一起，在整个破碎带中呈脉状、网脉状或透镜状产出。

3. 围岩蚀变

以绢云母化和黄铁矿化为主。围岩的绢云母化分布与矿体空间延伸方向一致；黄铁矿化仅在近矿围岩中呈星点浸染状出现。局部可见弱硅化，使二叠纪泥质岩硬度增大。

4. 矿石特征

(1) 物质组成 矿石中除自然金和银金矿以外，伴生金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿、菱铁矿、赤铁矿、磁黄铁矿和硬锰矿等。脉石矿物主要有石英、玉髓状石英、重晶石、绢云母、钠长石和方解石等。特征的氧化矿物有孔雀石、蓝铜矿、黄钾铁矾、针铁矿、纤铁矿和氧化锰等。

由于原生矿物大多已经氧化，区内主要矿石类型为氧化矿石，其平均化学成分见表1。金品位与矿石的矿物组合关系密切（表2），较高品位的矿石主要由褐铁矿、玉髓状石英和黄钾铁矾组成。

(2) 金的赋存状态 金主要呈自然金—银金矿形式产出，且以表生自然金为主。表生金呈包裹体或裂隙金嵌布于褐铁矿

金矿石的平均化学成分(wt, %)表

表 1

元素	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Cu	Pb	Zn	As	Sn	Au*	Ag*
含量	46.60	8.92	0.5	19.06	0.71	3.45	0.14	0.003	0.03	0.19	0.003	3.31	3.0

据选矿实验资料; *单位为g/t.

矿石金含量与矿物成分关系* 表 2

样号	矿物组合特征	金含量(g/t)
DH3 DH5 DH11	以原生石英或重晶石为主要成分, 褐铁矿次之	<1
DH7 DH9 DH10 DH15	以褐铁矿或赤铁矿为主要成分, 原生石英、重晶石次之	1~3
DH1 DH6 DH12	以玉髓状石英、褐铁矿、黄钾铁矾为主要成分	6.03~16.42

*矿石金含量由山西213地质队分析。

中。原生金的主要载体矿物是原生石英或黄铁矿, 亦呈包裹体或裂隙金形式嵌布。电子探针分析表明, 表生金成色显著高于原生金矿物(表3)。粒度分析表明, 金矿物以中粒为主, >0.074mm者占24.6%, 粒度在0.074~0.037mm者占44.8%, 最大颗粒可达2.75×1.88mm。金矿物以片状为主, 角粒状、圆粒状、针状次之。扫描电镜下可见苔藓状、多微孔状、薄皮壳状、海绵状和罕见的“微细金球”状等表生形貌的自然金颗粒。

金矿物电子探针分析 表 3

样品	金含量 (%)	银含量 (%)	金成色 (%)
表生自然金 I	97.18	2.72	971.8
表生自然金 II	92.53	7.46	925.4
表生自然金 III	91.55	8.29	917.0
原生银金矿	75.75	24.15	758.4

(3) 矿石结构 矿石构造以角砾状、蜂窝状为主, 网脉状、疏松土状次之。矿石

结构以自形一半自形粒状为主, 尚见交代、交代残余、网状、胶状等结构。

同位素及矿物标型特征

1. 铅同位素组成

矿区岩浆岩、蚀变带和金矿石三者的铅同位素组成相似(表4), 显示了燕山晚期侵位的岩浆对金的成矿不仅提供了热源, 而且提供了成矿物质。同时, 这些地质体的铅同位素组成非常接近造山带构造环境中的铅同位素, 表明本区燕山晚期华北地台持续活化中的强烈构造—岩浆活动[6]。将矿区铅同位素组成投到²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb—²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb图解上, 均落在我国岩浆热液型金矿铅同位素组成范围(图5), 显示岩浆热液成矿的特点。

2. 硫同位素组成

本矿床原生黄铁矿样品δ³⁴S值变化范围为-9.4~+5.7%, 均值为-1%, 组成特

东峰顶矿区铅同位素组成 表 4

样号	测试矿物	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
D-Sy	正长岩中正长石	18.673	15.623	39.005
P-Py	蚀变带中黄铁矿	18.123	15.510	38.642
YD-Py	金矿石中黄铁矿	18.199	15.601	38.910
造山带铅同位素组成*		18.66	15.62	38.83

*据B.R.Doc等。

征与陨石硫同位素相似, 但变化范围较宽。

结合铅同位素资料、岩体 Al₂O₃/TiO₂和围岩接触热变质作用不发育等事实, 可认为在温度不高的岩浆源中, 壳源物质对岩浆硫同位素的影响, 均一化作用并不完全。

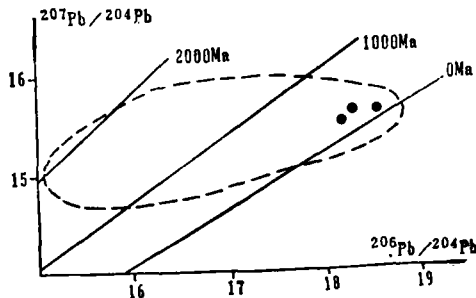


图5 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解

图中虚线为我国岩浆热液型(重熔+同熔岩浆)金矿床铅同位素组成范围;黑点为东峰顶金矿铅同位素组成;三条直线为年龄等时线。

3. 黄铁矿成分的标型特征

主矿化阶段黄铁矿的S含量为52.49~53.15%, Fe为46.25~46.40%; S/Fe为1.135~1.145(亏硫),显示内生成因特征。

微量元素特征: $\text{Au}/\text{Ag}=0.7\sim 0.8$, $\text{Co}/\text{Ni}=2\sim 2.5$, $\text{S}/\text{Se}=1.9\times 10^4\sim 4.8\times 10^4$, As含量为2300ppm, $\text{Cu}1730\text{ppm}$ 。据文献[2],本矿床主矿化阶段黄铁矿的微量元素标型特征,与岩浆热液型金矿床中黄铁矿相似,原生矿亦显示岩浆热液成因。

成矿模式探讨

矿床地质特征分析表明,本矿床的形成时间经历了热液期和表生期两个时期;在空间上,断裂构造始终控制着金的迁移和定位。成矿作用在时空上的密切相关,构成了本矿床成矿模式的基本特点。

1. 矿源层中金的活化

燕山晚期华北地台持续活化,区内构造

隆起强烈。隆起中心之下压力降低,水的存在又降低了岩石的熔融温度。同时,上地幔安山质熔浆上涌,引起区域热流值增高,造成本区基底岩石深熔和大规模中酸性(钙碱性—碱性)岩浆侵位。在这一过程中,矿源层中的金被活化进入岩浆(水的作用是巨大的),并随岩浆活动迁移。

研究区南部大面积分布的岩浆岩中残留的太古宙变质岩捕虏体的存在,提供了基底岩石卷入岩浆活动的地质证据。

本区重要的矿源层为前寒武纪变基性火山岩建造(Ar—Pt),属原生含矿火山岩组合(含Au5~330ppb)。这套含金变质建造形成于太古代结晶基底之后。由于古老地盾隆起,局部裂隙沉降,水下火山喷发将洋壳和上地幔物质带到沉降带中,形成初始矿源层(曹志敏,1986)。

2. 岩浆热液中金的迁移—沉淀

在区域上,燕山晚期岩浆沿有利构造部位上侵时,朝着钙碱性→碱性方向演化。在岩浆分异过程中,大量挥发分 H_2S 、 HCl 和碱质,在残余熔浆中富集。被活化进入岩浆中的金,很易与这些组份合成稳定的 $\text{K}[\text{AuCl}_2]$ 、 $\text{K}[\text{Au}(\text{HS})_2]$ 等络合物,转入期后热液中继续迁移。

根据矿床原生石英液相包裹体成分(表5)和热力学资料,成矿热液具有富 K^+ 、 Ca^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和中等盐度等特征。据栾世伟[2],金在热液中可能存在的形式与上述推测是一致的。

野外调查表明,区内岩浆侵位以后,有多期次的构造活动,北东向断裂和近南北向

石英包裹体液相成分(阳离子当量百分数)

表5

样号	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	盐度(wt%)
Q-1	13.38	6.56	77.70	2.36	3.39	3.05	93.56	8.2
Q-2	69.81	1.23	25.05	3.91	10.75	9.4	78.8	4.6
均值	41.60	3.90	51.38	3.41	7.06	6.24	86.18	6.4

断裂尤为明显。这为含矿热液的上升、沉淀、富集提供了良好的运移通道和定位空间。热液沿X型断裂向岩体外运移,进入南北向断裂中。热液温度下降和 f_{O_2} 的增高,是导致金沉淀的关键因素。据饶纪龙^[4],热液温度下降,将使体系pH中值迅速增大,酸的电离度增加,破坏体系的化学平衡,金的络合物解体。经过交代充填作用,形成含金硫化物—石英脉和含金重晶石脉。

3. 表生作用下金的再富集

潜水面以上矿体的氧化淋滤,对金的再次富集起着关键作用。由表2可见,含金量最高的3个样品(DH1、DH6、DH12)均由氧化程度很高的褐铁矿—黄钾铁矾—玉髓状石英所组成。

本区金在表生作用中的富集,与其呈络离子形式迁移的关系重大。H.B.涅斯特罗夫(1979)的实验证明,常温常压下,当弱酸性介质体系富含 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等络合物和胶态 Fe_2O_3 、 $Fe_2[SO_4]_3$ 等时,自然金可被溶解。本矿床氧化带具备这种条件:①矿石中原生石英稳定存在,表明介质的酸性(因为 SiO_2 在弱碱性介质中会溶解);②黄铁矿等氧化可提供 Fe_2O_3 、 $Fe[SO_4]$ 胶体;③硫化物氧化的中间产物 $S^{2-} \rightarrow [S_2O_3]^{2-} \rightarrow [SO_3]^{2-} \rightarrow [SO_4]^{2-}$ 可提供络合剂。在表生带溶解的金最可能的迁移形式是呈硫代硫酸盐络合物: $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$ 。这种络合物在弱酸性、中性和碱性介质中相当稳定。

介质的极度酸化,可能是导致金表生沉淀的重要因素。矿石的褐铁矿—黄钾铁矾—表生石英组合,说明了介质的这种强酸性(黄钾铁矾的稳定条件是 $pH=0.5\sim 2.5$, $E_h>0.5v$)。这种条件下,硫代硫酸盐络合物 $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$ 分解,释放出的金被蜂窝状褐铁矿、玉髓状石英等吸附。原生矿石中残留的较粗粒的金和表生金也能吸附介质中的金质点,从而导致金的次生富集。上述成矿模式可概括为图6。

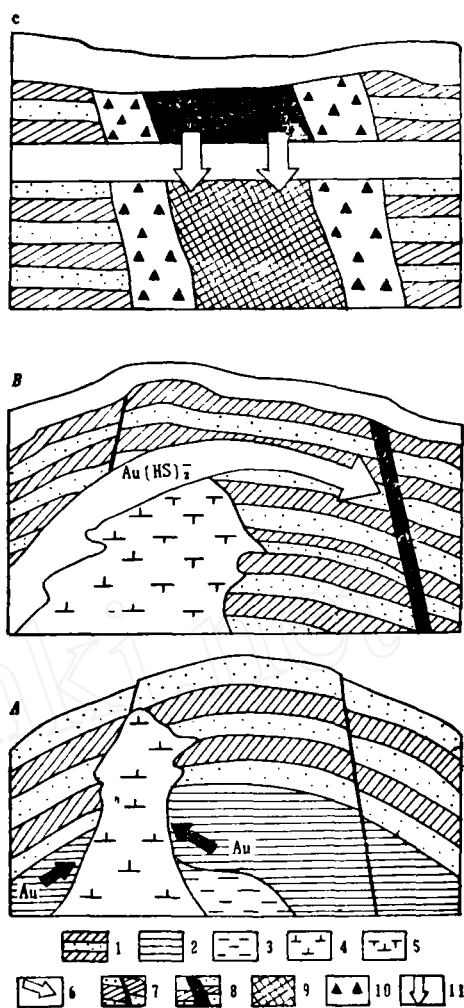


图6 东峰顶金矿床成矿模式概念图

1—盖层岩石, 2—基底岩石, 3—基底岩石部分熔融岩浆, 4—燕山晚期侵入岩浆, 5—固结岩浆岩, 6—岩浆热液迁移方向, 7—断裂, 8—原生金矿体, 9—氧化矿体, 10—破碎带, 11—氧化作用方向

A—构造—岩浆活动中, 基底矿源层的Au进入岩浆, B—岩浆结晶作用后期, 金呈络合物进入热液迁移, 在近南北向断裂中沉淀, 形成原生矿体, C—后期断裂活动使原生矿体破碎, 并重新胶结, 同时氧化作用使金进一步富集, 形成氧化矿体

结 语

1. 东峰顶金矿床原生矿体属岩浆热液成因。潜水面以上的矿体, 经表生作用改造, 使金进一步富集。

2. 氧化矿石的金品位与氧化作用程度有关。氧化程度高的矿物组合, 金含量相应也高。

3. 金的内生、表生迁移和定位空间都与断裂构造关系密切。找矿时应重视区域大断裂派生的断裂破碎带的含金性。这类成矿断裂, 由于多期次活动, 常切穿燕山期岩浆岩岩体。

4. 金在矿源层中的活化转移, 与燕山期大规模的钙碱性—碱性岩浆侵入有关。找矿时应重视金矿与燕山期岩浆岩的成因和空间关系。注意在岩体附近找矿。

笔者在野外工作期间曾得到左大华副教授、陈海文高级工程师和何晋忠工程师等的帮助, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 郝正平, 地质与勘探, 1989, 第7期。
- [2] 李世伟等, 《金矿床地质及找矿方法》, 四川科技出版社, 1987。
- [3] 杨森楠等, 《中国区域大地构造学》, 地质出版社, 1985。
- [4] 饶纪龙, 《地球化学中的热力学》, 科学出版社 1979。
- [5] 马振东, 《应用同位素地球化学》, 中国地质大学出版社, 1988。
- [6] 《国外黄金矿床译文集》, 冶金工业出版社, 1985。

Geological Features and Mineralization Pattern of the Dongfengding Gold Deposit, Shanxi

Zeng Jiannian

During its formation, the Dongfengding gold deposit went through two stages: hydrothermal and supergene enrichment. The gold content of ores is closely related to intensity of weathering. Ore-forming materials originate from basal gold-bearing source bed of North China Platform activated by the late Yanshanian magmatic activities. The deposit belongs to the mesothermal magmatic-hydrothermal type. Gold mineralizations are controlled by NNE-striking fractures derived from regional tectonics. Mineralization pattern and ore exploration guides are also discussed.

微细金球并不罕见

邱朝霞^[1]和罗文森等^[2]撰文认为, 微细金球在自然界极为罕见, 迄今国外仅报道3例。笔者因工作关系, 查阅有关资料表明, 微细金球在自然界并非罕见, 只是颗粒细小, 尚未引起人们的足够重视, 而且国外报道亦远非只3例。

除加拿大安大略省、尼日利亚和巴布亚新几内亚外, 国外已报道发现微细金球的还有^[3]:

①加拿大不列颠哥伦比亚省French Creer: 金球粒径1.70mm, 含Au76.9%, Ag23.2%, Hg0.3%, Cu0.1%。金球产于砂金矿中。

②美国北卡罗来纳州Seagrovo: 金球粒径0.05~0.20mm, 平均含Au79.5%, Ag19.2%, Hg0.7%, Cu0.1~0.05%。金球产于腐泥土中。

③巴拿马Savalilla: 金球粒径0.30mm, 含Au92.1%, Ag6.8%, Hg0.3%, Cu0.1%。金球产于砂金矿中。

④哥伦比亚Tolima: 金球粒径0.2mm, 含Au95.8%, Ag4.1%, Hg0.2%, Cu.1%。金球产于砂金矿中。

据报道, 法国Chateau-Gontier附近的亚粘土冲积层中和法属圭亚那Dorlin地区的亚粘土红土层中也发现了金球。最早报道的是1969年在塞浦路斯一个含铜黄铁矿矿床铁帽中发现的金球, 粒径0.01mm。

目前, 关于微细金球的成因, 认识各不相同, 主要有两种: ①金球是一种在表生环境下自身加大的化学沉积物; ②金球是金的胶体在搬运过程中老化重结晶形成的。

参 考 文 献

- [1] 邱朝霞, 地质与勘探, 1989, 第8期。
- [2] 罗文森等, 地质与勘探, 1990, 第6期。
- [3] Dilabio, R. N. W. et al., Econ. Geol. V. 83, 1988。

(四川403地质队 钟晓刚)