

# 山东三甲金矿床控矿构造特征及深部预测

李旭芬<sup>1</sup>, 刘建朝<sup>1</sup>, 米乃哲<sup>2</sup>, 张学仁<sup>1</sup>, 于虎<sup>3</sup>, 张雪<sup>1</sup>, 高坡<sup>1</sup>

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 2. 延长石油集团研究院, 西安 710061;

3. 山东金州集团地质勘探有限公司, 乳山 264501)

[摘要] 三甲金矿床位于胶东半岛东部的牟乳金矿带内岔河—三甲断裂的南端, 其围岩主要为古老变质岩和崑崙山花岗岩, 为含金石英脉型金矿。本文通过对矿床控矿构造空间形态、活动期次、力学性质以及围岩蚀变等方面的研究, 认为三甲金矿主要受控于主断裂, 其内不同期次的次级断裂控制了矿体的空间产出位置; 控矿断裂至少经历了三期应力改造, 早期为压扭兼张扭性的右行剪切变形, 中、晚期以张性裂隙为主—形成多金属硫化物石英脉, 后期为压扭性裂隙内部充填形成石英+碳酸盐+多金属硫化物。进而总结了矿体在断裂带中分布的规律性。深部地球化学研究表明, 三甲金矿的矿石类型、矿石矿物组合具有垂向分带的特征, 矿物组合逆向分带与地球化学原生晕所指示的深部成矿叠加相一致。结合矿体在断裂中分布的规律以及原生晕特点, 推断三甲金矿在-506m 标高以下尚有成矿富集段的存在, 此次研究为深部找矿提供了重要的依据。

[关键词] 构造控矿 叠加晕 深部预测 三甲金矿

[中图分类号] P618.51+P545 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)03-0392-08

Li Xu-fen, Liu Jian-chao, Mi Nai-zhe, Zhang Xue-ren, Yu Hu, Zhang Xue, Gao Po. Features of ore-controlling structure and prediction of mineralization at depth in the Sanjia gold deposit, Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(3): 0392-0399.

## 0 引言

胶东半岛是我国最大的金矿产出集中区, 也是环太平洋中、新生代金矿成矿系统的重要组成部分 (Goldfarb, 1989), 胶东半岛金矿储量约占全国探明岩金储量的三分之一以上 (赵鹏远, 2007)。位于胶东地区东部的牟乳金矿带是胶东金矿集中区的重要黄金产地, 有乳山、牟平、金牛山、三甲、胡家口、铜锡山等大、中型金矿床。三甲金矿床是牟乳金矿带内重要的石英脉型金矿之一。自1979年矿山开采以来, 冶金部山东地勘局三队与冶金部地球物理勘察院物化探研究所合作, 预测-26m 标高下有盲矿体, 1993 经冶金部山东地勘局三队钻探证实 (标高-26m~-266m)。1998 年中科院地质研究所沈远超、谢宏远等在此也做了大量工作。近年来, 随着开采力度不断加大, 三甲矿产资源濒临枯竭, 矿体深部延伸不明, 极大地制约了矿山的发展。要扭转矿山

危机的根本状况, 首先要瞄准国家战略目标, 开展理论预测与科学找矿研究, 加强从地表找矿转向 500m 深的“第二找矿空间”找矿 (吕才玉, 2007; 罗卫, 2007; 周云, 2009)。虽然前人比较注重从已知矿化分布特征和富集分带性质推断下部或隐伏矿脉 (翟欲生, 2004; 李惠, 1998; 李惠, 2001), 但未见大的找矿突破, 因此, 本文根据野外调查和前人研究的基础, 对三甲金矿的构造控矿特征进行了分析, 总结了控矿构造规律, 并结合地球化学原生晕的研究, 对三甲金矿脉进行了深部成矿预测, 为矿山深部勘探开采提供依据。

## 1 地质背景

### 1.1 区域地质概况

在中国大陆板块地质构造中, 胶东的地质构造独具特色。在长期的地壳发展和演化过程中, 区内地质体、地质构造的组成和分布及其动态发展过程,

[收稿日期] 2009-11-09; [修订日期] 2010-04-07; [责任编辑] 郑杰。

[基金项目] 全国危机矿山接替资源项目 (编号: 200637084) 资助。

[第一作者简介] 李旭芬 (1979 年—), 女, 2009 年毕业于长安大学, 获硕士学位, 在读博士生, 主要从事区域成矿研究, E-mail: mike5584@sohu.com。

主要受区域地质构造时空演化规律控制(宋明春, 2007)。受西太平洋的俯冲作用和郯庐断裂的左行走滑运动的影响,发育了一系列的 NNE 向断裂,这些断裂是胶东地区金矿床主要的导矿和容矿构造,主要的金矿带即产于这些断裂体系中。另外,胶东半岛还具 EW 向展布的反“S”状的弧形断褶-变质岩相型式,主要是老的北东构造复合古老 EW 向构造的产物。胶东金矿产地集中分布的规律也受这一反“S”形构造-岩相型式的控制(杨敏之,1996)。

区内出露的主要地层为太古宙胶东群,主要岩性为黑云变粒岩、斜长角闪岩、黑云片岩和大理岩等。此外大面积出露昆崙山复式花岗岩体,主要岩性为黑云母二长花岗岩。

1.2 矿区地质概况

三甲金矿位于牟平-乳山金矿带内岔河-三甲断裂的南端,并处在昆崙山花岗岩与三佛山花岗岩的接触部位,属绿岩带强烈活化改造深溶花岗岩内两期叠加的典型中-高温热液石英脉型金矿(杨敏之,1996)。

1.2.1 地层

矿区出露的主要地层为太古-元古界胶东群鲁家乔组,它以残留体分布于昆崙山黑云母花岗岩中,二者呈渐变过渡关系,残留体多为椭圆状、长几十米至几千米不等。岩性主要为黑云斜长片麻岩,斜长角闪岩,大理岩等。地层走向主要为 NE-NNW,倾向南西,倾角 70°~85°,少部分走向为 NE-NEE,倾向南东或北西,倾角 60°~80°。

1.2.2 构造

区内断裂构造发育,主要为北北东向(图1),自西向东为:青虎山-唐家沟断裂、石沟-巫山断裂、岔河-三甲断裂、将军石-曲河庄断裂、马家庄-葛口断裂,其大致以 4~5km 呈等间距出现,走向 5°~25°,倾向多为南东,倾角 75°~85°,长 10~25km,宽 1~10m。这几条控矿断裂共同的特点是:① 断裂具多期多次活动特点,以压扭为主,局部具张扭性特征,属复合性结构面。② 断面呈舒缓波状,延伸长,倾角陡。③ 沿同一条控矿断裂带上分布的相邻金矿床,其侧伏方向是相反的,乳山式金矿具有 NNE 向成带,NE 向成行的特点(谢宏远,1999)。④ 这五条断裂近于平行并等间距分布,且断裂带内含金石英脉,脉岩、硅化、绢英岩化蚀变岩等充填。这些断裂是牟乳金矿带内金的成矿作用的导矿断裂和主要的容矿断裂,它们控制了牟乳金矿带 90% 的金矿床产出。

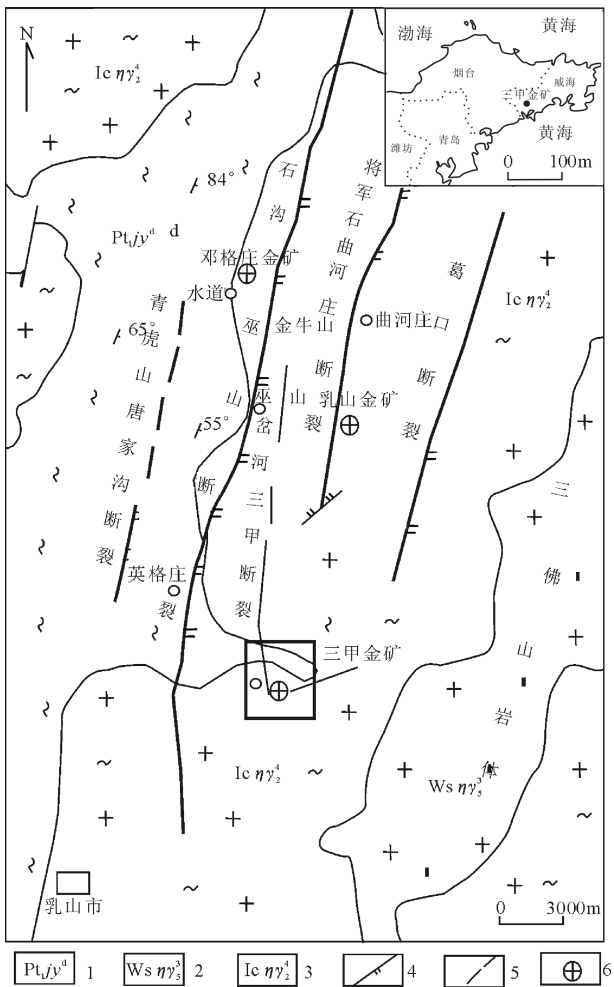


图1 三甲金矿矿区地质简图

Fig.1 Sketch map showing geological structure of the Sanjia gold deposit

- 1-胶东群;2-三佛山单元似斑状花岗岩;3-二长花岗岩;  
4-区域主干断裂;5-推断断裂;6-金矿床  
1-Jiaodong Group;2-porphyroic granite of Sanfoshan unit;  
3-adamellite;4-main fault of the area;5-inferred fault;6-gold deposit

1.2.3 岩浆岩

区内岩浆岩主要为中生代花岗岩及各类脉岩,花岗岩包括昆崙山花岗岩和三佛山花岗岩,关于昆崙山黑云母花岗岩的成因,经野外多处观察,均见到它与胶东群地层呈渐变过渡关系,在花岗岩体内尚存在着许多胶东群残留体,产状基本一致,边部可见混合岩化和混溶现象,这一现象表明昆崙山花岗岩体的原岩为胶东群,是交代成因的壳源深熔花岗岩,大量的岩石学研究、微量元素、稀土元素及同位素研究也都支持这一结论(杨敏之,1996)。在形成时代上,昆崙山花岗岩主要属复式岩体,是岩浆多期多阶段叠加的结果,野外的各种接触关系及众多的同位

素年龄正是这一结果的具体反映(张华锋,2006;郭敬辉,2005;张华锋,2004;Hu,2004),表明壳源深熔岩浆活动的终止时间为中生代燕山晚期,大量发育的各种脉岩是这一过程的证据。三佛山岩体与昆崙山岩体呈侵入接触关系,在三佛山岩体中有围岩俘虏体和同化混染现象,一些接触部位,可见到接触交代矿物。前人认为(谢宏远,1999;王鹤年,1998),三佛山花岗岩的侵入时代大体介于晚侏罗纪—白垩纪。形成时代稍晚于昆崙山,它的成因属于同溶型岩浆花岗岩。

#### 1.2.4 脉岩

三甲金矿岩浆活动的一个突出特点是矿区内各脉岩大量出现(大于 50 条/ $\text{km}^2$ )(谢宏远,1998),包括煌斑岩、闪长玢岩、正长斑岩、花岗闪长斑岩、霏细岩、花岗斑岩、辉绿岩等,它们平行或垂直于矿体产出,其规模一般长几十米至数千米,宽几十厘米到十几米不等。走向北西、北北东、北东、北东东,倾向北东—南东,倾角  $65^\circ \sim 85^\circ$ 。最发育的脉岩主要是煌斑岩,晚于金矿脉形成的少数煌斑岩脉呈 NE 向或 NW 向展布,切穿金矿脉,岩脉两侧金矿脉有一定位移。早于金矿脉形成的煌斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为约 132.34Ma,与金矿脉同期形成的煌斑岩的 K-Ar 年龄为约 104.97Ma (Hu,2004;应汉龙,1996),煌斑岩与金矿脉无论在时间上还是空间上均有着密切的关系。由此可见,区内金矿床的形成除了与花岗岩有关外,还应与其伴生的煌斑岩有着一定的联系,矿区内脉岩的发育反映了断裂体系为穿透性断裂构造体系,矿区为幔源岩浆及热液活动区(曾庆栋,1999)。

## 2 控矿构造特征

### 2.1 控矿构造空间形态

三甲断裂自孔西山向南经下初,段家西山断续到大石家以南。这条断裂上分布有铜锡山金矿、三甲金矿和数个矿点,是一条主要成矿带。

该断裂全长 25km(在矿区内长 5.5km),宽 2~8m,一般宽 2~3m,倾斜延伸已控制达七百余米。矿区内走向  $340^\circ \sim 355^\circ$ ,倾向北东,倾角  $75^\circ \sim 83^\circ$ 。断裂带由多条平行逆冲断层、片理化带、蚀变碎裂岩及断层泥组成,并常充填有含金石英脉、煌斑岩脉、闪长玢岩脉等。

平面上因破碎带宽度的变化控矿构造呈藕节状(图 2),局部突然变宽呈囊状。断裂面呈波状起伏,以致整个断裂面呈舒缓波状。剖面上有陡缓变化,

向深部总体产状变陡,构造带宽度的变化使整体形态呈囊状、透镜状、藕节状,还发育有一批走向北北东  $15^\circ \sim 35^\circ$  的一些张性分支小断裂,呈现“入字型”构造,并有金矿体赋存。

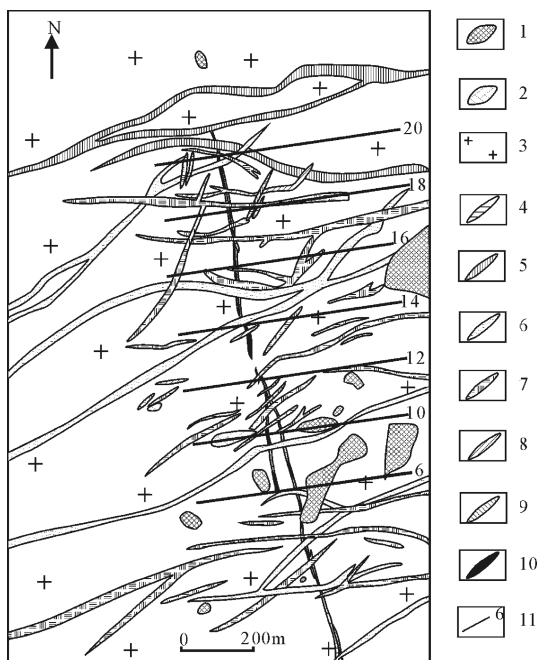


图 2 三甲金矿床地质图

Fig. 2 Geological map of the Sanjia gold deposit

1-太古界胶东群残留体;2-太古界-元古界黑云斜长片麻岩;3-黑云母二长花岗岩;4-煌斑岩;5-花岗闪长斑岩;6-花岗斑岩;7-闪长玢岩;8-黄铁矿化石英脉;9-含金蚀变带;10-金矿体;11-勘探线及编号

1-relict of Archean Jiadong Group;2-bearing biotite plagioclase gneiss of Archean-Proterozoic;3-granite porphyry;4-lamprophyre;5-granodiorite porphyry;6-granite porphyry;7-diorite porphyry;8-pyritized quartz vein;9-auriferous alteration zone;10-gold orebody;11-exploration line and serial number

### 2.2 控矿构造活动期次及力学性质

主断裂整体发育在硅化、钾化蚀变的昆崙山岩体内部。从地表上看似乎是单一的主断裂,但经过详细观察发现,其内部发育了多组不同方向,而且是不同期次的次级断裂体系,它们控制了三甲矿区的多期矿化事件。

次级控矿断裂至少有三期构造活动,形成稍早并以 NNW $350^\circ$  走向的微裂隙为压扭性,内部含矿性差;而 NNE $5^\circ$  走向微裂隙呈现张扭活动性质,形成稍晚并切割早期在此裂隙内部充填黄铁矿细脉,构成三甲矿区的早期矿化。这种次级断裂组合指示,控制早期矿化的是区域右行剪切应力场。而在此早期右行剪切性应力场的控制下,两组微裂隙多具右



行正断活动性质,同样在此应力场的控制下,早期形成的石英+黄铁矿细脉型矿化体应该是向南侧伏的。

中-晚期,18 线以北,在 NNE15° ~ 35°走向和 NNW345° ~ 335°走向的张性共轭裂隙组合,内部充填石英+多金属硫化物脉,切割并叠加在早期含黄铁矿微裂隙型矿化体的基础上。这种次级断裂组合指示控制晚期矿化的是区域南北向挤压伴随左行剪切应力场。正是受该期矿化事件的叠加影响,在三甲矿区-386 ~ -346m 中段,形成了一个晚期矿化的叠加膨大部位。在晚期的区域左行张扭性应力场的控制下,上述共轭张性裂隙多具左行正断活动性质。

除了以上两期最主要的矿化事件以外,三甲矿区还有一期更晚的矿化叠加过程,在 NE40° ~ 60°走向的压扭性裂隙内部(还有与其共轭的 NW300° ~ 320°走向压性裂隙,内部不含矿)充填形成石英+碳酸盐+多金属硫化物矿化脉,切割早期形成的两期矿化脉体,是三甲矿区最晚的矿化事件。但该期矿化在三甲矿区并不是很发育,只在个别中段有少数此种类型的含矿细脉出现。该金矿床的金矿化作用主要与中晚期左行张性应力场有关。

### 3 围岩蚀变及矿石类型

坑道观察表明,该金矿的围岩蚀变主要沿构造带呈带状分布,近矿围岩蚀变主要有钾化、绢云母化、绢英岩化、黄铁矿化、绿泥石化等。蚀变带分带性质不明显,大致的规律:中间常为含金石英脉或黄铁绢英岩化碎裂岩带,二者常构成金矿体;向两侧依次为硅化绢云母化碎裂花岗岩、绿泥石化或钾化花岗岩。但上述分带多数地段发育不完善,常有缺失和不对称出现,表现为矿体上盘蚀变较弱,而下盘蚀变发育。

矿石类型主要有金-黄铁矿-石英、金-黄铁矿-多金属硫化物-石英及金-黄铁矿-磁铁矿-石英型。金属矿物以黄铁矿为主,其次是磁铁矿,有少量黄铜矿、方铅矿及闪锌矿等,金矿物主要有自然金、银金矿。非金属矿物以石英为主,其次是绢云母、长石、重晶石、铁白云石、方解石、绿泥石等。

矿石结构主要有半自形-自形粒状结构,其次为填隙结构、包含结构等。而矿石构造以块状构造、浸染状构造、细脉状、网脉状、角砾状构造为主。

金矿物的赋存状态以裂隙金为主,占 68.3%,其次是晶隙金占 28.6%,包体金占 4.9%。

### 4 深部地球化学特征

三甲金矿地球化学元素具有 Bi+Hg+As+Sb+Co、Pb+Zn 和 Ag+Cu+Au 的组合特点,从尾晕元素 Ni、Co、Mo 与前缘晕元素 Hg、As、Sb、Ag 的相关性来看(表 1)、Ni 与 Hg、As、Sb、Ag 均显弱负偏相关,Co 与 Sb、Ag 显正相关,Mo 与 Hg、As 分别具有弱正/负偏相关而与 Sb 显负偏相关。聚类分析显示(图 3),三甲金矿表现出 Bi 与 Hg 距离较近,二者相关于偏相关系数均大于 0.9(表 1),表明 Bi 和 Hg 的密切关系,三甲金矿具有成矿叠加的指示,头尾晕元素叠加尤为明显(Bi+Hg+As+Sb+Co 组合),且各元素随矿体垂深的变化趋势说明叠加主要发生在深部。三甲金矿在浅部以以富 Cu 或多金属组合之含金石英脉为特点,向深部有益组分趋于单一并以 Au 为主,但 Cu、Zn 等相对富集段亦时有出现。

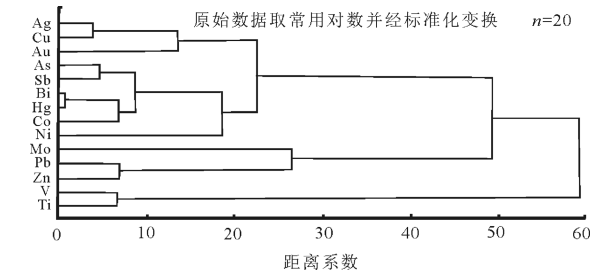


图3 三甲金矿-426m ~ -186m 标高矿体微量元素聚类分析谱系图<sup>①</sup>

Fig.3 Cluster analysis dendrogram of trace elements of ore body at elevation from -426m ~ -186m to in Sanjia gold deposit<sup>①</sup>

前人对三甲金矿-106m 标高以上所做大量研究显示(杨敏之等,1996),矿体具 Cu-Au-Sb-Zn-Pb-Mo-Ag-Bi-As 逆向分带,矿体厚度在 0 m 标高附近趋于变薄、品位趋于变低,矿石有金-黄铁矿-石英、金-黄铁矿-多金属硫化物-石英及金-黄铁矿-磁铁矿石三种类型且呈垂向分带,矿石见角砾状构造。结合稳定同位素、流体包裹体等矿床地球化学证据,三甲金矿在成矿物质上大部分来自深部,部分来自绿岩带演化的预富集,成矿热液则是多种来源热液的混合,被认为系两期热液叠加成因。三甲金矿在 0m 标高以上为第一富集段,-266 m ~ -100m 标高为第二富集段,其中 Zn 与 Sb 在 -146m 标高达峰值、Cu 与 As 在 -266m ~ -186m 标高较高,故推测在 -350m 标高之下应存在第三富集段。根据三甲金矿床的原生叠加晕模式和具体预测标志表

明(李惠等,2001)(图4):①前缘晕指示元素是As、Sb(Hg、F);②近矿晕指示元素是Au、Ag、Cu、Pb、Zn,其中Pb、Zn异常的叠加处为富矿部位;③尾晕指示元素是Bi、Mo、Mn。剖面上叠瓦式矿体(晕)上部矿体的尾晕与下部矿体的前缘晕部分叠加,使晕范围加大,叠加部位异常强度增强,同时对三甲金矿床深部-300m标高以下进行预测,提出了3个靶

位,已在-346m、-386m和-426m中段验证见矿。本次研究主要在标高-426m~-220m,三甲金矿自-346m标高向下矿石类型及其矿物特征有明显变化。首先,“石英脉型”矿石减少,工程所揭露的10~16勘探线之间的矿体主要由构造蚀变带中的蚀变岩组成,以强“黄铁绢英岩化”、碳酸盐化、绿泥石化为特点,有些部位穿插有较多长石石英细脉

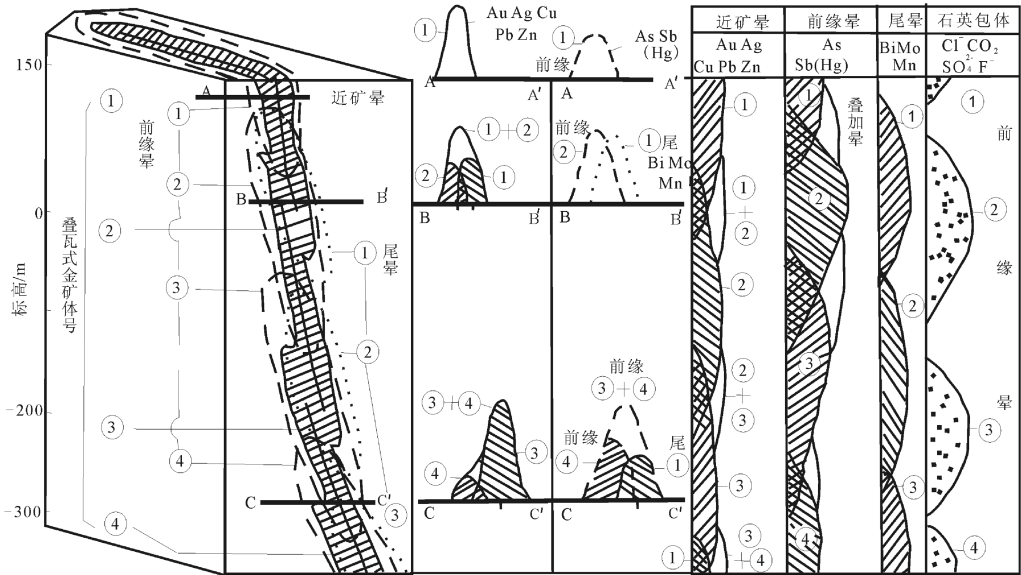


图4 三甲金矿床原生叠加晕模式图(李惠等,1998)

Fig. 4 Primary overprint halo model of Sanjia gold deposit(after Li et al. , 1998)

表1 三甲金矿矿体微量元素相关与偏相关系数(n=20)<sup>①</sup>

Table 1 Correlation coefficients and partial correlation coefficients of trace elements in the Sanjia gold deposit, Shandong Province<sup>①</sup>

元素	Ag	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hg	Au	Ni	Co	V	Ti
Ag	1.000	0.546	0.893	0.254	0.306	0.554	0.604	0.676	0.718	0.657	0.504	0.687	-0.095	0.216
Mo	0.006	1.000	0.284	0.343	0.300	0.486	0.328	0.573	0.650	0.141	0.227	0.622	0.285	0.023
Cu	0.847	0.226	1.000	0.013	0.166	0.475	0.537	0.520	0.534	0.641	0.548	0.510	-0.279	0.303
Pb	0.477	0.429	-0.708	1.000	0.817	-0.094	-0.008	0.110	0.222	0.085	-0.258	0.015	-0.006	-0.359
Zn	-0.236	-0.403	0.548	0.752	1.000	-0.036	0.038	0.192	0.284	0.101	-0.296	0.000	-0.186	0.559
As	-0.135	0.303	0.149	-0.038	-0.310	1.000	0.873	0.842	0.787	0.658	0.511	0.772	0.064	-0.044
Sb	-0.313	-0.645	0.487	0.537	-0.360	0.356	1.000	0.909	0.841	0.744	0.61	0.819	0.098	-0.020
Bi	0.150	0.413	-0.513	-0.637	0.600	0.064	0.684	1.000	0.980	0.635	0.651	0.842	0.097	-0.118
Hg	0.046	-0.275	0.319	0.500	-0.471	-0.023	-0.516	0.937	1.000	0.580	0.607	0.818	0.122	-0.157
Au	0.134	-0.302	0.165	0.36	-0.392	0.007	0.06	0.274	-0.277	1.000	0.409	0.539	-0.267	-0.261
Ni	-0.331	-0.365	0.603	0.517	-0.779	-0.426	-0.260	0.508	-0.348	-0.373	1.000	0.675	0.101	0.087
Co	0.391	0.498	-0.378	-0.324	0.388	0.156	0.380	-0.177	0.095	0.132	0.495	1.000	0.357	0.231
V	-0.126	0.419	-0.185	-0.219	0.498	0.065	0.402	-0.577	0.608	0.048	0.365	-0.175	1.000	0.827
Ti	0.169	-0.402	0.093	0.194	-0.595	-0.202	-0.251	0.458	-0.509	-0.192	-0.447	0.391	0.882	1.000

注:上半三角为三相关系数,下半三角为偏相关系数。

且钾长石化明显。其次,矿石角砾状构造常见,蚀变岩中孔洞、杏仁偶尔可见。矿体在-346m 标高出现多金属硫化物组合,即闪锌矿+方铅矿+黄铁矿+黄铜矿,尤以富闪锌矿、方铅矿为特点,与-306m 标高的以黄铁矿+石英为主的组合明显不同,但在-386m、-426m 标高矿石矿物组合又进而变成黄铁矿+磁铁矿+少量黄铜矿,尤以细粒、条带状磁铁矿大量出现为特点。与前人对-106m 标高以上及-266m ~ -100m 标高的研究结果比较(李惠等,1998;杨敏之等,1996),上述特征指示-426m 标高以下存在另一个成矿富集段,这与地球化学原生晕研究结果相吻合。

## 5 讨论

### 5.1 矿床构造演化

为了研究三甲矿床的定位机制和构造演化,笔者从铜锡山、三甲、段家西山的地表、采坑和巷道观察,并结合矿山资料发现:此断裂经历过不同性质的多期次活动。

从铜锡山、三甲等地观察,断层面在地表倾角均为 $80^{\circ}$ 左右。断层面见到多期次的擦痕与北北东向断裂不同,三甲带内充满了断层角砾岩和角砾状矿石,大小不等,棱角明显,无定向排列,甚少致密脉状,兹后的成矿都是在这一基础上演进而来的。这些都表明了它的张扭特征,这是该带的第一成矿阶段。

随后是一期右行逆断层活动,上盘呈 $40^{\circ}$ 仰角向南逆冲,此期的石英脉往往在角砾岩中呈脉状出现(图5),构造角砾大小不等、棱角明显、无定向排列,此为第二成矿阶段。紧接着,区域上略带左行的构造活动使三甲断裂处于拉张状态,带内发生了一次强烈的正断层活动,伴随着这次活动,出现第三成矿阶段,在铜锡山再次破碎的矿石中,灌入了多金属硫化物,方铅矿、闪锌矿和黄铜矿胶结成块,甚至成为金铅矿石。根据在三甲所采矿石的光、薄片鉴定,黄铁矿沿破碎的石英脉裂隙充填,铁白云石对破碎部分进行交代。黄铁矿为晚期,呈完好自形(立方体),但不破碎。石英未见波状消光,其中小包体密集成平行带状分布,并有两组近直交的微裂隙,说明此次活动的剪切特征,这是第四成矿阶段。

### 5.2 矿体定位

据以上研究得出,三甲金矿构造演化的第一成矿阶段为左行的扭性兼张的断裂活动,乳白色的石英脉充填,为第二阶段矿体定位提供了成矿空间;主

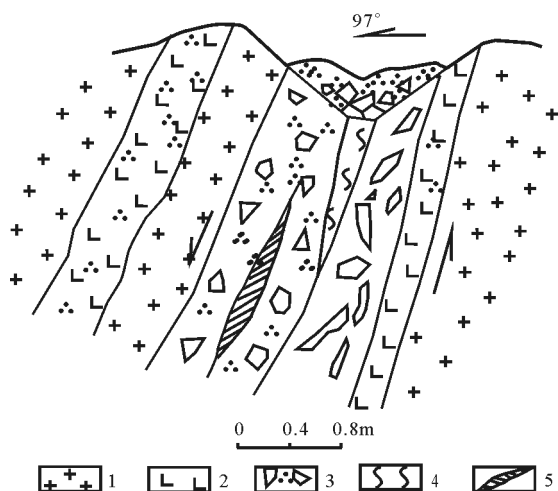


图5 铜锡山南山采槽素描图

Fig.5 Sketch of mining trough in south Tongxishan

1-花岗岩;2-煌斑岩;3-断层角砾;4-片理化带;5-矿体  
1-granite;2-lamprophyre;3-fault rubble;4-schistosity zone;  
5-orebody

活动期为右行引张性活动,将构造带内乳白色的石英破碎。由于此次活动的破坏仍只限于断带内部,所以厚处远比薄处裂隙发育,故有大量烟灰色石英脉及含金黄铁矿沉淀形成富大矿体。由于三甲断裂的形成具有张扭性,甚至断裂不连续,在走向上一般不会出现左拐右拐的波状弯曲,因而走向上也不出现挤压、扩张段的交替,矿脉与矿体常呈斜列状。但在倾向上,由于两次正断层活动,会在倾角陡处形成扩张而成为良好成矿区。同时,上盘的左行斜落将会造成矿体向南侧伏,这是本带的找矿依据之一,因而应特别注意在产状较陡处找矿。

### 5.3 矿体的分布规律

经过分析发现,三甲矿床内的矿体具有以下分布规律:

(1) 断裂面两侧岩石片理化现象明显,具有多次活动的特点。矿体受断裂构造控制,因此矿体呈脉状产出,沿走向、倾向均有尖灭再现现象。

(2) 矿体沿倾向呈斜列阶梯状。

(3) 本区南部矿体有明显的南东侧伏规律;北段矿体侧伏趋势不明显。

(4) 矿体中具有角砾状矿石和条带状细脉充填,并且细脉相互穿切,说明多期多次成矿阶段的叠加,常是富矿部位。

### 5.4 矿体深部预测

结合前人的研究成果及本文的数据分析认为,三甲金矿第二成矿富集段约为-346m ~ -100m 标

高, -426m ~ -346m 标高为成矿头尾晕叠加域, 因第一成矿富集段与第二成矿富集段间隔垂深至少 100m, 推测第二与第三成矿富集段垂直间隔在 110m ~ 140m 左右, 即第三成矿富集在 -496m ~ -466m 标高之下。经过坑道观察发现, 三甲金矿主矿体由 -426m ~ -346m 标高走向发生扭动, 总体走向约为 NNW35°, 仅从 -426m ~ -346m 标高计, 走向扭摆 30° 的垂直跨度为 80m, 如果向下再次扭回 NNW 亦至少需 80m, 因该矿体走向稳定, 进而判断矿体向下延伸至 -506m 标高。矿体在 -426m ~ -346m 标高厚度较大, 一般 5m 左右, 认为走向扭摆是造成矿体增厚的主要原因。由于 -426m ~ -346m 标高, 矿物组合最大的特点是中偏高温矿物如磁铁矿、磁黄铁矿和辉钼矿增多, 矿化较好的地段主要块状是磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁石英脉和黄铁绢英岩集合体, 因此, 推断 -506m 标高以下为第三成矿富集矿段, 16 线以北应加强找矿。

## 6 结语

1) 三甲金矿床主要受控于岔河-三甲断裂, 其内不同期次的次级断裂控制了矿体的空间产出位置; 控矿断裂至少经历了三期应力改造, 早期为压扭兼张扭性的右行剪切变形, 中、晚期以张性裂隙为主-形成多金属硫化物石英脉, 后期为压扭性裂隙内部充填形成石英+碳酸盐+多金属硫化物。该金矿床的金矿化作用主要与中晚期左行张性应力场有关。

2) 根据原生晕地球化学研究表明, 从尾晕元素 Ni、Co、Mo 与前缘晕元素 Hg、As、Sb、Ag 的相关性来看, Ni 与 Hg、As、Sb、Ag 均显弱负偏相关, Co 与 Sb、Ag 显正相关, Mo 与 Hg、As 分别具有弱正/负偏相关而与 Sb 显负偏相关。聚类分析显示, Bi 和 Hg 的密切关系并具有 Bi+Hg+As+Sb+Co 元素组合, 这些头尾元素叠加共存现象, 说明深部有很好的找矿远景。

3) 三甲矿床内矿体的分布具有一定的规律, 即矿体受断裂构造控制, 因此矿体呈脉状产出, 沿走向、倾向均有尖灭再现现象; 矿体沿倾向呈斜列阶梯状; 南部矿体有明显的南东侧伏规律; 矿体中具有角砾状矿石和条带状细脉充填, 并且细脉相互穿切, 表明是多期多次成矿阶段的叠加, 常是富矿部位。

4) 根据 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Bi、Hg、Mo 等元素的垂向变化规律显示, 三甲金矿在 -506m 标高以下尚有成矿富集段的存在, 为深部找矿提供有利证据。

致谢 匿名审稿人对本文提出宝贵的修改意见; 在野外工作中, 山东金洲矿业集团地质同仁给予大力支持与无私的帮助; 在此一并表示感谢。

[ 注释 ]

① 刘建朝, 张学仁, 孙继东. 2001. 山东省乳山金矿成矿规律与成矿预测研究报告

[ References ]

- Goldfarb R. T., Phillips G. N., Nokleberg W. J. 1989. Tectonic setting of syn-orogenic gold deposits of the Pacific Rim [ J ]. *Ore Geology Review*, 13: 185-218
- Guo Jing-Hui, Chen Fu-kun, Zhang Xiao-man, Siebel W., Zhai Ming-guo. 2005. Evolution of syn- to Post-collisional magmatism from north Sulu UHP belt, eastern China: zircon U-Pb geochronology [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4): 1281-1301
- Hu Fang-fang, Fan Hong-rui, Yang Jin-hui, Wan Yu-sheng, Liu Chun-yi, Zhai Ming-guo, Jin Cheng-wei. 2004. Mineralizing age of the Rushan lode gold deposit in the Jiaodong Peninsula: SHRIMP U-Pb dating on hydrothermal zircon [ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 49(15): 1629-1636
- Lv Cai-yu, Cao Xiao-sheng, Xiao Fu-quan. 2007. The geological features and prospecting potential in the deep of Tongguanshan deposit, Anhui [ J ]. *Geology and Prospecting*, 43(6): 12-16
- Luo wei, Dai Ta-gen, You Xian-jun. 2007. Metallogenic regularities and predictions of Au deposit in the south west Hunan province [ J ]. *Geology and Prospecting*, 43(6): 42-46
- Li Hui, Zheng Tao, Tang Lei, Zhang Wen-hua, Liu Bao-lin. 1998. Superimposed halo model of Sanjia gold deposit in Rushan, Shandong province [ J ]. *Gold Geology*, 4(4): 1-7
- Li Hui, Wang Zhi-nong, Zhang Wen-hua. 2001. The prediction rules on primary superimposed halo of ore of large type gold deposits [ J ]. *Gold Science and Technology*, 9(3-4): 1-4
- Song Ming-chun. 2007. Geotectonic subdivision of Shandong Province [ J ]. *Geophysics of China*: 40-42
- Wang He-nian, Wang Yao, Chen Yan-an. 1998. The Relationship between migmatitic granite and gold mineralization of northwest Jiaodong [ J ]. *Journal of Nanjing University*, (4): 29-40
- Xie Hong-yuan, Shen Yuan-chao, Zhang Qi-rui, Wang Yue-jun, Li Shen-zhi, Sun Xiu-ying. 1999. Metallogenic rule of gold deposits and its application to the prospecting in the central and east part of Ruahn, Shandong [ J ]. *Geology and Prospecting*, 35(1): 6-9
- Xie Hong-yuan, Shen Yuan-chao. 1998. Variation of gold orebodies in the Sanjia gold deposit, Shandong province, and its ore prospecting significance [ J ]. *Mineral Deposits*, 17(2): 165-170
- Yang Min-zhi, Lv Gu-xian. 1996. The geology and geochemistry of gold deposit in greenstone belt of east Shandong province [ M ]. Beijing: Geological Publishing House: 12-229
- Ying Han-long. 1996. Amphiphyre in the Denggezhuang and Jinqingding gold mining Areas of Jiaodong: Its characteristics and relationship to gold mineralization [ J ]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 15(3): 221-227
- Zeng Qing-dong, Shen Yuan-chao, Yang Jin-zhong, Zhang Qi-



ruì. 1999. Li Shen-zhi. Positional prediction of concealed orebodies of the Rushan gold mine, Shandong[J]. *Geology and Prospecting*, 35(2):3-5

Zhao Peng-yun, Gu Xue-xiang, Deng Xiao-hua. 2007. Genesis and metallogenic model of Jiaojia gold deposit, Shandong[J]. *Geology and Exploration*, 43(4):29-35

Zhou Yun, Wang Xiong-wu, Chen Bing, Qin Zhi-peng, Peng Hui-juan. 2009. Evaluation of ore potential in depth of Qingshan gold deposit, Shaanxi Province[J]. *Geology and Exploration*, 45(5):493-501.

Zhai Yu-sheng, Deng Jun, Wang Jian-ping, Peng Run-ming, Liu Jian-jun, Yang Li-qiang. 2004. Researches on deep ore prospecting [J]. *Mineral Deposits*, 23(2):142-149

Zhang Hua-feng, Li Sheng-rong, Zhai Ming-guo, Guo Jing-hui. 2006. Crust uplift and its implications in the Jiaodong Peninsula, eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(2):285-295

Zhang Hua-feng, Zhai Ming-guo, He Zhong-fu, Peng Peng, Xu Bao-liang. 2004. Petrogenesis and implications of the sodium-rich granites from the Kunyushan complex, eastern Shandong Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3):369-380

[附中文参考文献]

郭敬辉, 陈福坤, 张晓曼, Siebel W, 翟明国. 2005. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞—碰撞后构造过程: 锆石 U-Pb 年代学[J]. *岩石学报*, 21(4):1281-1301

吕才玉, 曹晓生, 肖福权. 2007. 安徽铜官山矿床地质特征及深部成矿预测[J]. *地质与勘探*, 43(6):12-16

罗卫, 戴塔根, 游先军. 2007. 湘西南金矿成矿规律与成矿预测研究[J]. *地质与勘探*, 43(6):42-46

李惠, 郑涛, 汤磊, 张文华, 刘宝林. 1998. 山东乳山三甲金矿

床的叠加晕模式[J]. *黄金地质*, 4(4):1-7

李惠, 王支农, 张文华. 2001. 大型金矿盲矿的原生叠加晕和预测准则[J]. *黄金科学技术*, 9(3-4):1-4

宋明春. 2007. 山东省大地构造分区探讨[J]. *中国地球物理*, 40-42

王鹤年, 汪耀, 陈延安. 1998. 胶东西北部混合岩花岗岩及其与金矿化的关系[J]. *南京大学学报*, (4):29-40

谢宏远, 沈远超. 1998. 山东三甲金矿的矿体变化特征及其找矿意义[J]. *矿床地质*, 17(2):165-170

谢宏远, 沈远超, 张启锐, 王岳军, 李慎之, 孙秀英. 1999. 山东乳山中部地区金矿成矿规律及其找矿应用[J]. *地质与勘探*, 35(1):6-9

杨敏之, 吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学[M]. 北京:地质出版社:12-229

应汉龙. 1996. 胶东邓格庄和金青顶金矿区煌斑岩特征及其与金成矿关系[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(3):221-227

曾庆栋, 沈远超, 杨金中, 张启锐, 李慎之. 1999. 山东省乳山金矿隐伏矿体定位预测[J]. *地质与勘探*, 35(2):3-5

赵鹏运, 顾雪祥, 邓小华. 2007. 山东焦家金矿床成因及成矿模式[J]. *地质与勘探*, 43(4):29-35

周云, 王雄武, 陈兵, 秦志鹏, 彭慧娟. 陕西青山金矿深部找矿前景评价研究[J]. *地质与勘探*, 2009, 45(5):493-501

翟欲生, 邓军, 王建平, 彭润民, 刘家军, 杨立强. 2004. 深部找矿研究问题[J]. *矿床地质*, 23(2):142-149

张华锋, 李胜荣, 翟明国, 郭敬辉. 2006. 胶东半岛早白至世地壳隆升剥蚀及其动力学意义[J]. *岩石学报*, 22(2):285-295

张华锋, 翟明国, 何中南, 彭澎, 许保良. 2004. 胶东昆崙山杂岩中高银花岗岩地球化学成因及其意义[J]. *岩石学报*, 20(3):369-380

Features of Ore-Controlling Structure and Prediction of Mineralization at Depth in the Sanjia Gold Deposit, Shandong Province

LI Xu-fen<sup>1</sup>, LIU Jian-chao<sup>1</sup>, MI Nai-zhe<sup>2</sup>, ZHANG Xue-ren<sup>1</sup>, YU Hu<sup>3</sup>, ZHANG Xue<sup>3</sup>  
(1. School of Earth Sciences Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054;  
2. Xi'an Institute of Yanchang Oil Field, Xi'an 710061;  
3. Shandong Gold Continent Group Geological Prospecting Limited Company, Rushan 264501 )

**Abstract:** The Sanjia gold deposit, of the quartz vein gold type, lies at the southern end of the Chahe-Sanjia fault in the Mouping-Rushan gold ore belt in eastern Shandong. Its country rock is mainly composed of ancient metamorphic rocks and Kunyushan granite. This work has studied the spatial form, activity periods, dynamic characteristics and wall rock alteration of the Sanjia gold deposit. It was pointed out that this gold deposit was controlled by the major fault (Chahe-Sanjia) and its secondary faults which determine distribution of ore bodies. The ore-controlling fault zone had undergone three periods of deformation by stress: dextral compressive shear with tensile component in early time, dominating tensile deformation in middle and later periods when polymetallic sulfide quartz vein formed, and compressive shear of fractures filled with quartz, carbonate and polymetallic sulfide in later. Furthermore, this study summed up the distribution regularities of the ore bodies in the fault belt. The result of deep geochemistry shows that ore types and ore mineral assemblage are characterized by zone subdivision in vertical direction. Reverse zone subdivision of mineral assemblages is consistent with deep mineralization superposition indicated by geochemical primary halos. It is inferred that the potential ore bodies exist below -506m in the deposit based on the distribution law of ore bodies in the faults and the primary halo characteristics. This study provides a line of important evidence for exploration of deep-seated ores.

**Key words:** ore-controlling structures, superimposed halo, prediction of deep-seated ore, Sanjia gold deposit