胶东牟平照岛山金矿蚀变矿化阶段及控矿要素

张运强，李胜荣，陈海燕，薛建玲，孙文燕，张 旭
ZHANG Yun-qiang, LI Sheng-rong, CHEN Hai-yan,
XUE Jian-ling, SUN Wen-yan, ZHANG Xu

中国地质大学/地质过程与矿产资源国家重点实验室，北京 100083
State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources/China University of Geosciences , Beijing 100083, *China*

摘要：照岛山金矿位于胶东牟平-乳山成矿带北段，矿体产于中生代燕山期昆嵛山二长花岗岩中，主要受 NNE 向金牛山断裂带的控制。对金的成矿背景、矿床地质、控矿因素和矿体隐伏特征的研究结果表明：围岩蚀变从近矿到远矿依次发育黄铁绢英岩化、绢英岩化和钾长石化；金的成矿分为黄铁矿石英、石英黄铁矿、多金属硫化物、石英碳酸盐矿物 4 个阶段；昆嵛山岩体和荆山群变质岩的接触带附近易于成矿；金牛山主断裂走向 NE 的拐折地段、不同期次断裂交会处和多期断裂破碎带部位都易于成矿；金品位高值区呈近似等距分布，32 线以南有向 SW 侧伏的趋势，40 线以北有向 NE 侧伏的趋势。总结了照岛山金矿的控矿因素，初步推测了深部找矿方向。

关键词：金矿；热液蚀变；成矿阶段；控矿因素；胶东照岛山
中图分类号：P618.41;P614 **文献标志码**：A **文章编号**：1671-2552(2010)06-0933-12

Zhang Y Q, Li S R, Chen H Y, Xue J L, Sun W Y, Zhang X. Identifying of alteration mineralization phase and analysis on ore-controlling factors of Zhaodaoshan gold deposit, Muping, eastern Shandong, China. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(6):933-944

Abstract: The Zhaodaoshan gold deposit, located in the north of the Muping-Rushan ore-forming belt, occurs in Mesozoic Kunyushan monzonitic granite. Ore bodies are controlled by the Jinniushan tectonic zones of NNE striking faults. Results of the metallogenic background, ore geology, ore-controlling factor and the characteristics of concealed orebody show that alterations of wall rock from proximal to distal are pyritization silicification-sericitization, silicification-sericitization and potash-alteration. It is concluded that the mineralizing processes of Zhaodaoshan gold deposit can be divided into four stages: pyrite-quartz stage, quartz-pyrite stage, polymetallic minerals stage and quartz-carbonate stage. The ore bodies occur in contact zone between Kunyushan granite and Archen-Lower proterozoic Jingshan Group metamorphic rock, and occur in the location of NE striking faults, at the cutting point of different faults and in the tectonic fracture zones. The gold enrichment localities distribute in accordance to an approximate equidistant rule. The gold orebodies incline to the SW direction in the south of No. 32 exploration line and to the NE direction in the north of No. 40 exploration line. The article sums up the ore-controlling factors and points out ore exploration prospecting in the deep area of Zhaodaoshan gold deposit.

Key words: gold deposit; hydrothermal alteration; mineralization stage; ore-controlling factor; Zhaodaoshan, eastern Shandong Province

照岛山金矿区位于烟台市牟平区玉林店镇照岛山南部，北西距牟平区约 18km 处。20 世纪 80 年代中期，山东地矿局在该区域开展了大范围的地质普查工作，圈定了多个成矿远景区。2003 年底，牟平金

收稿日期：2009-10-21；**修订日期**：2010-03-15
基金项目：全国危机矿山接替资源找矿项目（编号：20089937）、国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目（批准号：90914002）及教育部高等学校学科创新引智计划项目（编号：B07011）资助
作者简介：张运强（1982- ），男，在读硕士，矿物学、岩石学、矿床学专业，从事成因矿物学与找矿矿物学研究。E-mail：zhyqok@163.com
通讯作者：李胜荣（1956- ），男，教授，博士生导师，从事成因与找矿矿物学、环境与生命矿物学研究。E-mail：lisr@cugb.edu.cn

矿完成该区域地质勘查工作,圈定出Ⅰ号矿体。前人未对该矿区的地质特征进行系统研究,地质研究程度很低。本文拟通过分析研究矿床地质特征、成矿阶段、围岩蚀变、控矿构造、矿体隐伏特征,归纳出区内金矿的控矿因素,提出区内金矿的找矿方向,以便对进一步的勘探找矿提供借鉴。

1 区域地质背景

照岛山金矿区在大地构造位置上属于中朝准地台胶辽台隆胶北隆起东南部、金牛山断裂北段中部,是胶东牟乳成矿带北部矿带的一部分。矿体产于中生代昆嵛山杂岩体和荆山群变质岩接触带附近(图1)[1-3]。区内出露地层有古元古界荆山群变质岩系和第四系。矿区西侧大面积出露的荆山群变质岩为一套由黑云变粒岩、斜长透辉岩、透辉大理岩、斜长角闪岩组成的中级变质岩系[4],矿区内仅以残留体的形式出露于西北部的昆嵛山岩体中(图2)。第四系分布于山间沟谷、山前平原及现代河流的两侧。

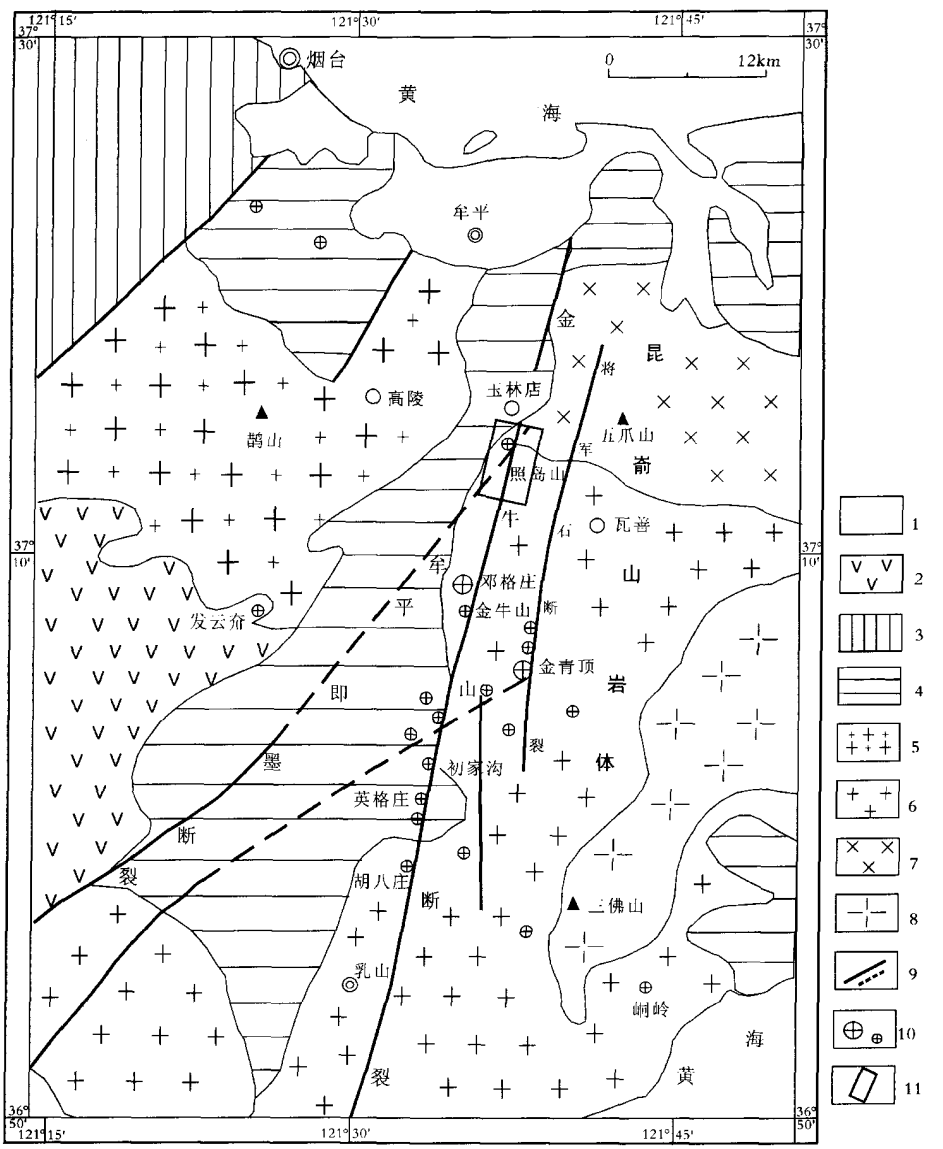


图1 山东牟平—乳山地区区域地质略图(据参考文献[1-3]改绘)

Fig. 1 Geological sketch map of the Muping-Rushan region, Shandong

1—第四系;2—白垩系砂砾岩和火山岩;3—古元古界粉子山群;4—太古宇-古元古界荆山群;5—中生代鹊山岩体;6、7—中生代昆嵛山岩体;6—瓦善弱片麻状二长花岗岩;7—五爪山弱片麻状含榴二长花岗岩;8—中生代晚期三佛山岩体;9—断层;10—金矿床及矿点;11—研究区域

区内岩浆活动频繁，分布最广的为昆嵛山二长花岗岩，据张德全等[5]黑云母 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄 120~147Ma 和郭敬辉等[1]锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 140~160Ma，形成时代为中生代燕山期。岩体呈岩基侵入荆山群变质岩系，与金成矿密切相关[6-8]。区内中生代脉岩有煌斑岩、闪长岩、闪长玢岩、伟晶岩、石英脉等，沿矿脉或穿切矿脉分布，规模较小。

区内断裂构造发育，主要有 NNE 向金牛山断裂和 NE 向牟平-即墨断裂[9]。NNE 向断裂贯穿矿区南北，出露长 2800m，宽 3~20m，总体走向 15°，倾向南东，局部反倾，倾角 69~87°，显压扭性特征。沿该断裂带已知有多处金矿床(点)，如邓格庄、金牛山、初家沟等大、中、小型金矿床，照岛山金矿即赋存于该断裂带中。NE 向断裂通过邓格庄矿床北部，横穿区内 NNE 向断裂及旁侧次级断裂，走向 40~50°，倾向北西，局部反倾，倾角 65~85°，属压扭性断裂，也有金矿床(点)产出[8]。另外区内还发育有 NW 向、NNW 向和 NEE 向断裂，它们均不同程度地切割了 NNE 向断裂，一般含金量较低或无金矿化。

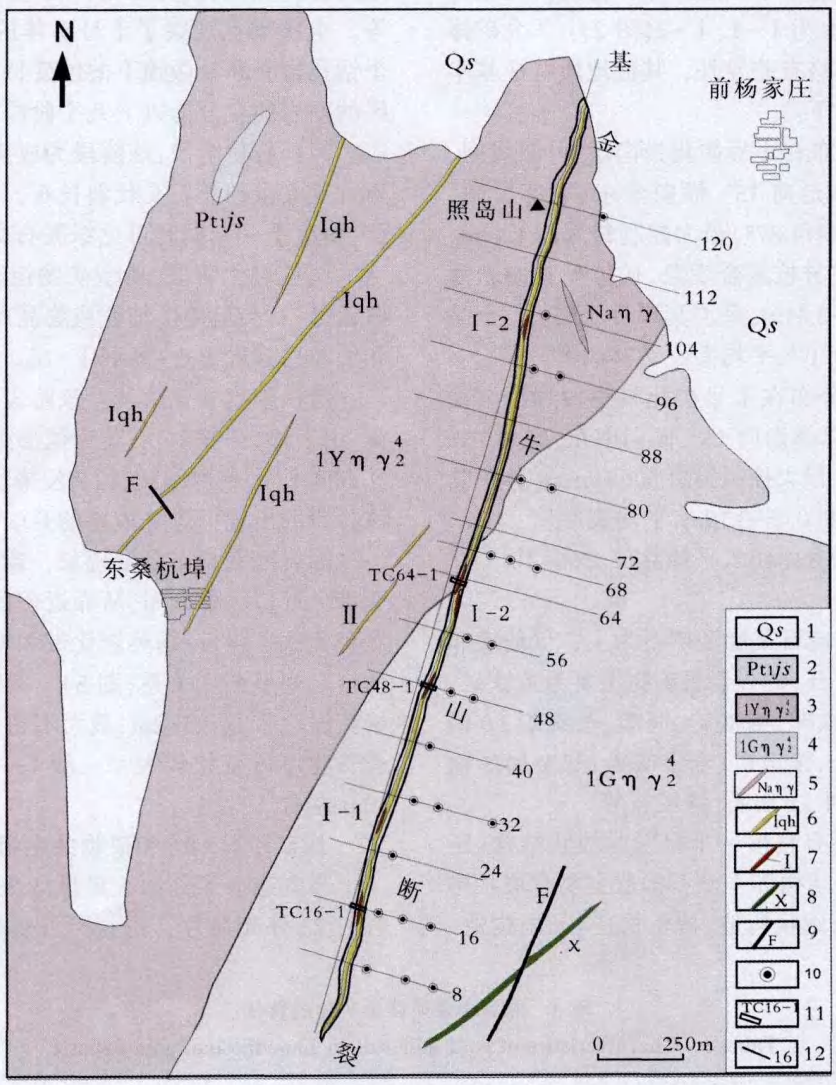


图 2　照岛山金矿区地质略图(据参考文献①修编)

Fig. 2　Geological sketch map of the Zhaodaoshan gold deposit

1—第四系山前组；2—太古宇-古元古界荆山群；3—五爪山弱片麻状含榴二长花岗岩；4—瓦善弱片麻状二长花岗岩；5—钠长石化二长花岗岩；6—含金石英脉；7—矿体及编号；8—煌斑岩；9—断层；10—钻孔；11—探槽及编号；12—勘探线及编号

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

照岛山金矿区已探明Ⅰ、Ⅱ号2个构造蚀变矿化带,其中以Ⅰ号矿化带为主。它们赋存于NNE向的金牛山主断裂内,该断裂对金矿体的空间分布、形状及规模有明显的控制作用。矿带长1600m,倾向南东,倾角75~89°,平均87°(图2、图3)。沿走向、倾向均呈舒缓波状展布,膨大收缩现象明显,有分枝复合的现象(图4)。

Ⅰ号矿化带共有2个工业矿体,自南向北进行矿带划分,编号依次为Ⅰ-1、Ⅰ-2(图2)。2个矿体的地质特征除规模略有差异外,其他地质特征基本相似。具体描述如下。

Ⅰ-1矿体:分布在Ⅰ号矿化带南段0~40线间,矿体长724m,总体走向15°,倾向南东,局部反倾,倾角75~89°,平均倾角87°。最大控制斜深561.45m,局部有膨胀、夹缩、分枝复合现象,矿体呈陡倾斜薄板状,真厚度0.54~2.41m,平均真厚度1.53m。金品位1.40×10^{-6}~4.72×10^{-6},平均品位2.74×10^{-6}。

Ⅰ-2矿体:分布在Ⅰ号矿化带中段56~88线间,矿体长536m,总体走向15°,倾向南东,倾角75~89°,平均倾角88°。最大控制斜深506.10m,矿体呈陡倾斜薄板状,真厚度0.45~3.19m,平均真厚度1.47m,金品位1.09×10^{-6}~3.68×10^{-6},平均品位1.66×10^{-6}。

2.2 矿石特征

矿石类型以富硫石英脉型矿石为主,仅地表和浅部有少量氧化矿石。矿石金属矿物主要为黄铁矿,少量黄铜矿、磁黄铁矿、褐铁矿、铜蓝、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、银金矿、金银矿等;非金属矿物主要有石英、绢云母、方解石、绿泥石等。

矿石结构主要有自形—半自形晶粒状结构、压碎结构和交代残余结构等。矿石构造主要有块状构造、浸染状构造、角砾状构造、梳状构造、晶洞构造、条带状构造等。

金矿物的赋存状态以晶隙金为主,聚集分布于黄铁矿晶隙中(图版Ⅰ-h)。形态主要为片状,次为圆角粒状。金矿物粒度主要为细粒金,粒度一般为0.006~0.01mm,最小为0.002~0.006mm,最大为0.006~0.024mm(表1)。

3 围岩蚀变与矿化阶段划分

3.1 围岩蚀变

照岛山金矿区围岩蚀变类型主要有钾长石化、绢英岩化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化并伴有绿泥石化等。本次重点观察了Ⅰ号矿体的3个探槽剖面、15个钻孔岩心和显微镜下的蚀变特征,可将照岛山矿区的围岩蚀变分为以下几个阶段。

钾长石化阶段:该阶段为成矿早期阶段,光薄片下可见大量钾长石交代斜长石,并包裹斜长石和石英(图版Ⅰ-a),同时可见绿泥石交代黑云母。

绢英岩化阶段:典型矿物组合为石英、绢云母、白云母,石英呈他形细粒或隐晶质结构,大量绢云母和细粒白云母出现(图版Ⅰ-b)。

黄铁绢英岩化阶段:该阶段典型矿物组合为石英、绢云母、黄铁矿,石英为他形细粒结构,黄铁矿为立方体形态、细粒结构,稀疏浸染状分布(图版Ⅰ-c)。该阶段的出现标志着成矿的开端。

围岩蚀变具有分带现象,黄铁矿石英脉两侧蚀变带呈近似对称分布,从靠近矿体到远离矿体,分别发育黄铁矿化带、绢英岩化带和钾长石化带,不同蚀变带之间呈渐变关系(图5)。黄铁矿化带宽1~3m,绢英岩化带宽0.5~2m,最大不超过3m,矿化外围钾长石化厚度变化较大,一般10~30m,最大处可达50m左右。

3.2 成矿阶段划分和矿物共生组合

笔者选取照岛山金矿区3个探槽、23个钻孔资料和23件光薄片,进行野外观察和镜下光薄片鉴

表1 照岛山金矿区金矿物的特征

Table 1 Characteristics of gold minerals in Zhaodaoshan gold deposit

类型	赋存状态			粒度大小/μm			形态		
	包体金	晶隙金	裂隙金	粗粒(>100)	中粒(50~100)	细粒(?50)	片状	圆角粒状	其他形状
粒数	0	4	0	0	0	4	3	1	0
相对比例	0	100%	0	0	0	100%	75%	25%	0

注:据山东牟平金矿集团资料统计

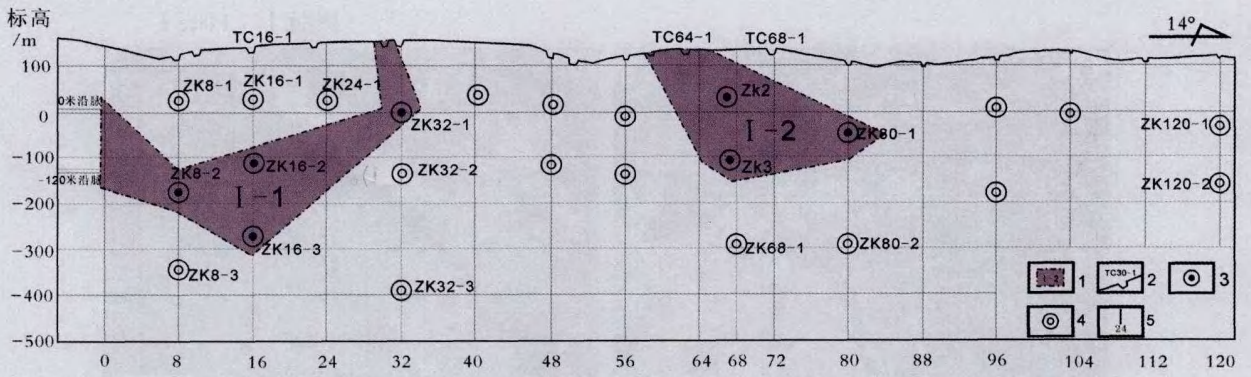


图 3　照岛山金矿区Ⅰ号矿体垂直纵投影图

Fig. 3　Vertical projection of No. Ⅰ orebody in the Zhaodaoshan gold deposit

1—矿体及标号;2—见矿探槽及编号;3—见矿钻孔及编号;4—未见矿钻孔及编号;5—勘探线及编号

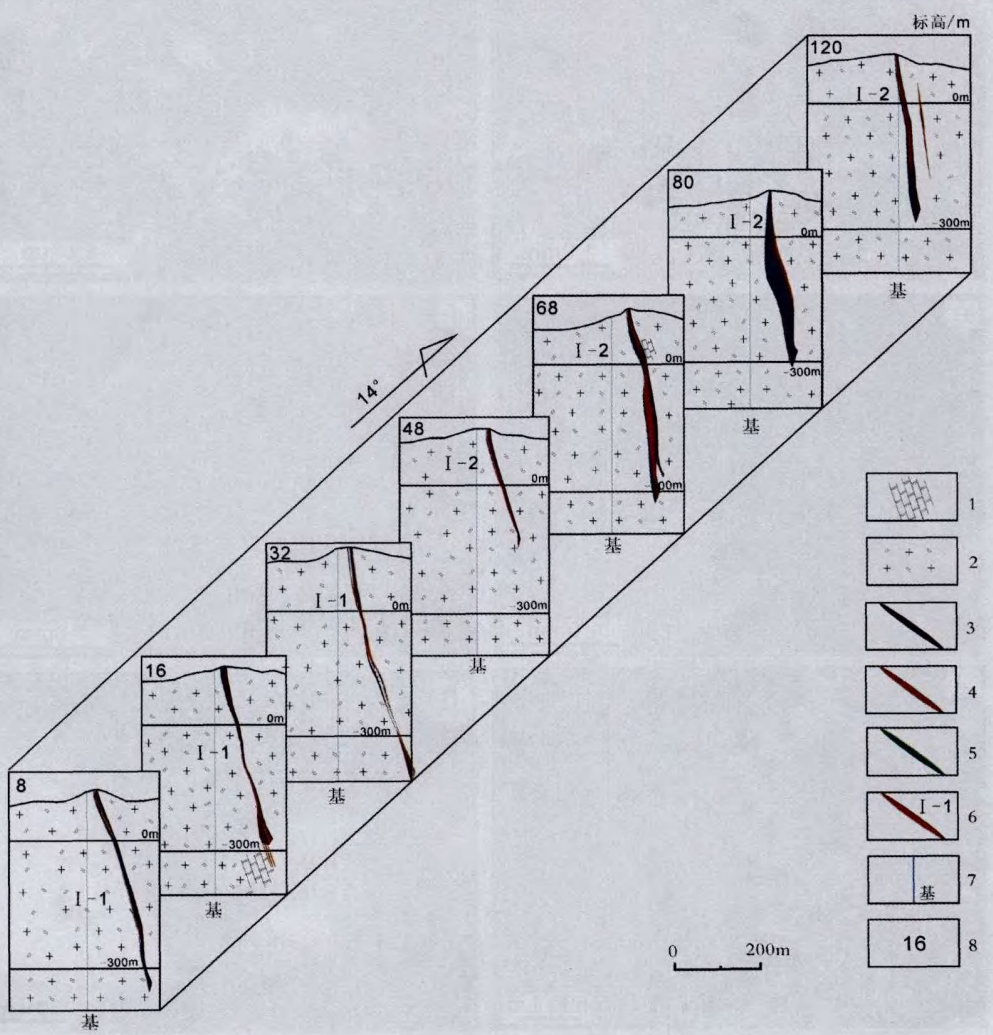
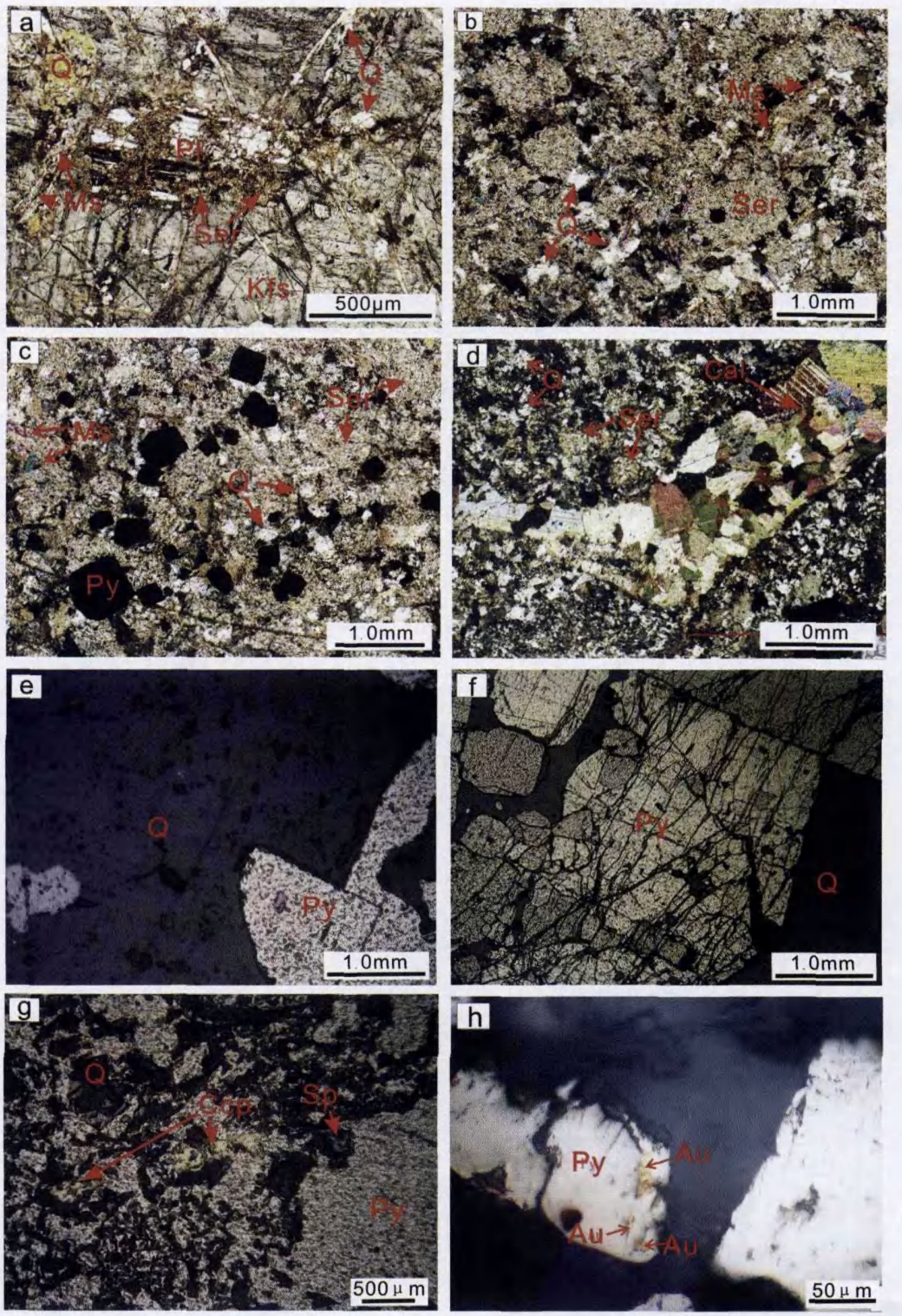


图 4　照岛山金矿区Ⅰ号矿体勘探线联合剖面

Fig. 4　The combined section along exploration line in No. Ⅰ orebody in the Zhaodaoshan gold deposit

1—大理岩;2—二长花岗岩;3—矿化带;4—黄铁矿石英脉;5—煌斑岩;6—矿体及编号;7—基线;8—勘探线编号

图版 I Plate I



a—钾长石化；b—绢英岩化；c—黄铁绢英岩化；d—碳酸盐化；e—黄铁矿石英阶段矿石；f—石英黄铁矿阶段矿石；g—多金属硫化物阶段矿石；h—黄铁矿晶隙中的自然金(h 据山东牟平金矿集团)。*Kfs*—钾长石；Pl—斜长石；Q—石英；Ser—绢云母；Ms—白云母；Cal—方解石；Py—黄铁矿；Sp—闪锌矿；Ccp—黄铜矿

定。根据矿石组构和穿插关系认为:照岛山金矿床的形成经历了热液蚀变矿化期和表生氧化期(表 2)。

(1)热液蚀变矿化期

这一时期,昆嵛山岩体受早期构造力的作用产生众多小裂隙,高温、高压和高化学位的成矿流体以渗滤交代方式与围岩发生水岩反应,固液体系处于高氧逸度碱性条件下,发生钾长石化蚀变作用。随着成矿流体氧逸度的降低,发生绢英岩化蚀变作用。绢英岩化阶段晚期,介质由碱性氧化向酸性还原转化,发生黄铁绢英岩化作用,标志着成矿期的开端。

早期蚀变作用之后,断裂构造继续活动,局部地段受到张剪性应力作用,产生规模较大的张性裂隙,成矿流体发生大规模的沉淀,水岩反应由交代作用转变为充填作用,形成黄铁矿石英大脉。

黄铁矿石英阶段:矿物组合为黄铁矿和石英。黄铁矿颗粒粗大,自形—半自形粒状结构(图版Ⅰ-e),形态多为立方体和五角十二面体,碎裂、压碎结构,裂纹发育。石英为乳白色粒状集合体,呈半自形晶。脉体梳状构造发育。该阶段金矿化很弱,但规模较大。

石英黄铁矿阶段:矿物组合为石英、黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、银金矿、自然金等。石英呈烟灰色,中细粒半自形结构,黄铁矿不等粒结构,以自形晶为主,主要呈浸染状、细脉状充填于早期粗粒黄铁矿裂隙或脉石矿物中(图版Ⅰ-f),是金富集的主要阶段。

多金属硫化物阶段:矿物组合为石英、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、银黝铜矿、金银矿、银金矿等(图版Ⅰ-g)。石英为浅烟灰色,黄铁矿呈细脉状、浸染状、团块状。多金属硫化物与金银矿、银金矿密切共生,呈细脉状充填于早期黄铁矿、石英裂隙中,是金富集的主要阶段。

石英碳酸盐阶段:矿物组合为石英、方解石、白云石,多呈细脉状(图版Ⅰ-d),偶见条带状。此阶段已无金矿化,标志着整个矿化作用进入尾声。

表 2　照岛山金矿区矿化阶段和矿物生成顺序

Table 2　Mineralization stages and paragenetic sequence of minerals in Zhaodaoshan gold deposit

矿物生成顺序	钾长石化阶段	绢英岩化阶段	黄铁绢英岩化阶段	黄铁矿-石英阶段(Ⅰ)	石英-黄铁矿阶段(Ⅱ)	多金属硫化物阶段(Ⅲ)	石英-碳酸盐阶段(Ⅳ)	表生氧化期
钾长石	▬							
石英	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	
绿泥石	▬	▬						
磁铁矿					▬			
绢云母	▬	▬	▬	▬				
黄铁矿			▬	▬	▬	▬	▬	
磁黄铁矿					▬			
银金矿				▬	▬	▬		
金银矿				▬	▬	▬		
黄铜矿					▬	▬		
方铅矿						▬		
闪锌矿						▬		
银黝铜矿						▬		
方解石				▬	▬		▬	
白云石							▬	
褐铁矿								▬
孔雀石								▬
矿化特征	无矿	无矿	弱矿化	贫矿	富矿	富矿	弱矿化	迁移

(2)表生氧化期

这一时期的地质作用表现为对原生矿石的改造和破坏,其影响范围常见于地表及其以下几米,因为地下水的渗滤作用,深部也局部可见表生矿物褐铁矿等。地表矿石构造主要是块状和蜂窝状。

4 主要控矿特征

4.1 岩性控矿特征

(1)荆山群与昆嵛山岩体接触带控矿

区内金矿主要产于昆嵛山岩体侵入荆山群的内接触带及其附近的地带。李胜荣等[8]研究认为,昆嵛山岩体属钙碱性二长花岗岩,是在12~15km深处主要由以基性火成岩为特征的胶东群(富金)和少量以陆源化学沉积为特征的荆山群部分熔融而成的,岩体SiO_2较高,有利于形成石英脉金矿,K_2O+Na_2O较高,有利于围岩蚀变与Au的迁移富集,相对富Au、Ag、S、Ba且变化较大,有利于成矿元素的局部富集。荆山群中众多大理岩分解形成的CO_2,不但是成矿物质迁移的活跃载体,也改变介质的pH值,为后期地质事件中金的活化迁移起了重要作用[8,10]。因此,受后期岩浆热液作用和断裂构造的影响,在两者接触部位广泛发育Au等成矿元素的迁移,并在有利部位富集成矿。对照岛山金矿区Ⅰ-1、Ⅰ-2号矿体不同深度的矿石钻孔取样做显微观察统计表明,在17个矿石光薄片中发现7个明显具有上述特征(图6-c、d),占统计总量的41.2%,在ZK8-2两者接触带上还发现了品位达4.72×10^{-6}、厚度2.4m的富金矿石。区内荆山群均呈残留体状零星分布,仅在区内西北部地区出露。但在已施工钻孔ZK16-3标高-280m处发现蚀变大理岩(图6-a、b),ZK96-2标高-190m处发现荆山群黑云变粒岩等,都指示了区域-300m以下的深部仍可能存在成矿接触带,具有成矿潜力。

(2)多期侵入岩接触带控矿

区内昆嵛山岩体分多期发育(图1),侵入岩的多期发育显示区内构造运动的多期性。侵入岩接触带部位往往是成矿热液频繁活动的地带,原始矿源层中的Au等成矿元素多次迁移活化,前期形成的金矿化被多次加强,Au等成矿元素运移到有利的接触带部位富集成矿,形成品位较高的矿段。照岛山金矿区Ⅰ号矿体即赋存于瓦善弱片麻状二长花岗岩与五爪山弱片麻状含榴二长花岗岩的接触带附近(图2),其中五爪山岩体侵入瓦善岩体,显示了昆嵛山岩体多期侵入的特征。

(3)中生代脉岩控矿

区内脉岩主要有中生代闪长玢岩脉、煌斑岩脉等。脉岩的位置是一种构造薄弱带,对金矿成矿热液的运移起到导矿作用,因此多数脉岩直接与矿体伴生或影响着矿体的产状,能起到间接指导找矿的作用。

4.2 断裂控矿特征

金牛山主断裂总体走向NNE,并呈现NNE和NE段相互交替波形变化的特征,属于北北东构造系。该断裂带具有多期活动的特点,既是导矿断裂,又是容矿断裂,矿床的形成和赋存均受其控制[11-13]。金牛山金矿区内成矿潜力最大的Ⅰ-1、Ⅰ-2号矿体即赋存于沿NNE走向展布、局部膨大扩容的金牛山主断裂带上,矿体赋存规律严格受金牛山主断裂构造的控制。

(1)构造应力场转换与界面成矿

前人根据大量野外地质资料分析了牟乳成矿带的构造演化和断裂控矿特征,认为该带在中生代成矿期前后(J_3—K_1)构造应力场发生了转换,即由左行压扭性转换为右行张剪性。成矿早期,金牛山主断裂处于左行挤压紧闭状态,主成矿阶段断裂处于右行张剪开放状态[11-13]。此种构造应力场转换特征与万天丰等[14]、Kerrich R[15]和翟裕生等[16]研究中国侏罗纪—白垩纪时华北陆块发生构造体制转换,即由NWW—SEE向挤压转为NE—SW向挤压,并随之产生岩浆活动与成矿作用的结果是一致的。构造应力场的转化,能够产生附加的压力、温度及其他物理化学参量,该部分构造物理化学参量的变化是水岩系统发生重要转换而成岩成矿的重要原因之一。构造应力场转化导致构造物理化学场结构的差异,形成不同成矿界面,从而发生各种蚀变与矿化作用。这些成矿界面包括张性构造破碎地段、构造虚弱部位、构造裂隙尖端等常被称为构造应力最大能量释放的部位[17-20]。

野外观测发现,早期黄铁矿石英脉中存在构造透镜体,显微镜下可见钾化花岗岩和绢英岩中石英颗粒的波状消光、眼球状石英颗粒(图版Ⅱ-a、d、e)等现象,显示早期成矿阶段构造应力场具有明显的压扭特征,构造运动方向为左行[11]。在主成矿阶段的原生矿石中常见早期的石英脉呈碎裂状角砾,并被细粒黄铁矿和多金属硫化物胶结形成富矿石,石英角砾大小不一,棱角分明,显微镜下可见黄铁矿石英

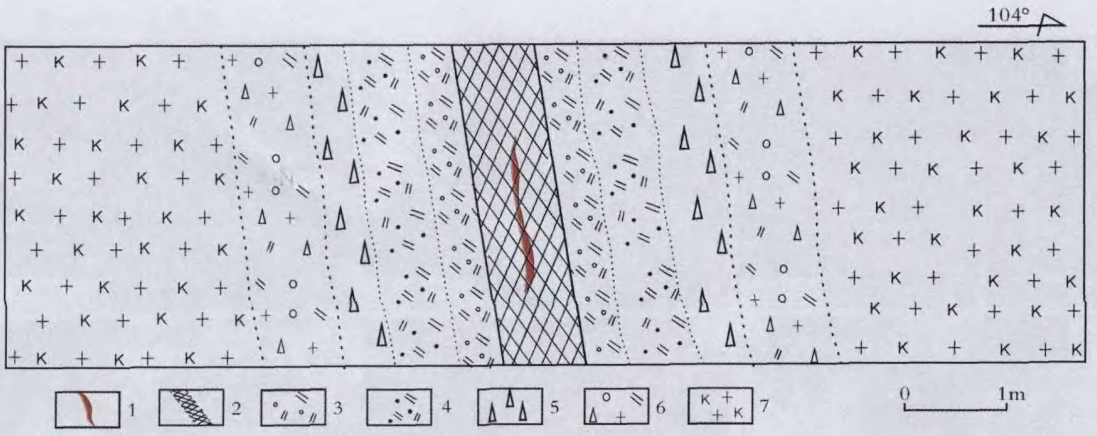


图 5　照岛山金矿区 TC64-1 蚀变分带剖面示意图

Fig. 5　Sketch profile diagram of hydrothermal alteration assemblage zoning of TC64-1 prospecting trench in Zhaodaoshan gold deposit

1—矿体;2—黄铁矿石英脉;3—黄铁绢英岩;4—绢英岩;5—构造角砾岩;6—碎裂状绢英岩化二长花岗岩;7—钾长石化二长花岗岩

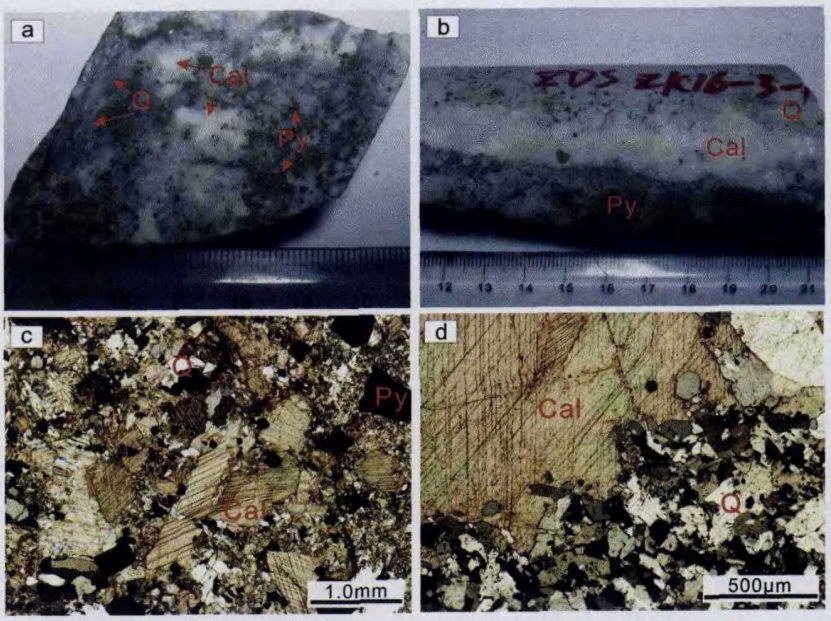


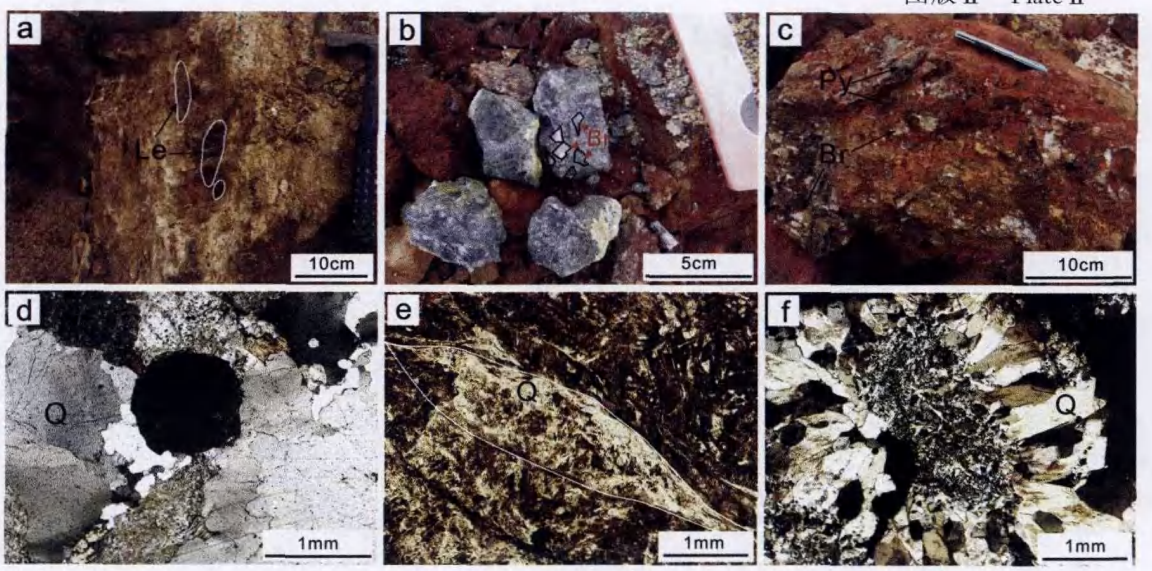
图 6　照岛山金矿区接触带矿石结构构造特征

Fig. 6　The texture and structure of contact zone in Zhaodaoshan gold deposit

a—含大量方解石的条带状矿石;b—接触带含大量方解石的矿石;c—方解石被石英、黄铁矿交代溶蚀;d—石英脉与大理岩的接触边界。Q—石英;Cal—方解石;Py—黄铁矿

阶段碎裂状粗粒黄铁矿和梳状石英(图版Ⅱ-b、c、f)。另外，地表还可见含矿石英脉中出现大量的石英晶洞和含有石英角砾的原生矿石等现象(图 7)，推测在主成矿阶段曾发生过构造应力场的转换，断裂的性质转变为张剪性，构造应力分析显示其运动方向为右行，与前人的研究结果基本一致[11-13]。由此可知，断裂在主成矿阶段受右行张剪应力场的作用，走向 NNE 段为摩擦面，总体受剪切滑动力的作用，围岩裂隙破碎较少，大部分仍处于相对“封闭”的环境，不利于热液充填成矿;走向 NE 的拐折段为隐蔽面，

图版Ⅱ Plate Ⅱ



a—风化黄铁矿石英脉中的构造透镜体;b—含有石英角砾的地表原生矿石;c—含有石英角砾的地表氧化矿石;d—石英的波状消光;e—透镜体状石英角砾;f—梳状石英。Q—石英;Py—黄铁矿;Le—构造透镜体;Dr—石英晶簇; Br—石英角砾

总体受张剪力的作用,断裂面开启而形成"开放"的环境, 为热液在其中集中沉淀成矿物质提供了有利的低压、低能空间。于是在 NE 的拐折段出现膨胀部位,形成富矿柱。

区内Ⅰ-1、Ⅰ-2 号矿体基本符合这一断裂控矿规律: 走向 NNE 段含矿性较差,NNE 向 NE 拐折的地段含矿性好。其中 8~16 线、64~68 线和 96~104 线均处于断裂由 NNE 向 NE 拐折的地段(图7),前两者经实地民采和钻孔验证为富矿段。另外,在断裂面产状由陡变缓的部位和断裂的分枝复合部位,由于裂隙发育、岩石破碎强烈,也常形成成矿界面,成为富矿部位(图 4)。

(2)构造交会处控矿

前人研究认为,牟乳金矿带上的金矿床(点)主要受NNE 向断裂和 NE 向隐伏断裂的控制,2 组断裂构造构成棋盘式格局, 许多金矿床就处在断裂交会处或者附近[9,21-22]。因此,NE 与 NNE 向断裂构造交会部位应是金矿成矿的有利部位。照岛山金矿区内存在 NNE 向的金牛山断裂带和 NE 向的牟平-即墨断裂带,推测深部可能存在断裂交会,具有成矿潜力。

(3)断裂对矿体测伏的控制

李士先等[23]研究认为,胶东内生金矿,产状基本一致的断裂构造控制的矿体侧伏方向表现出一致性,走向 NE 或 NNE 向的控矿断裂,倾向 NW 者,矿体

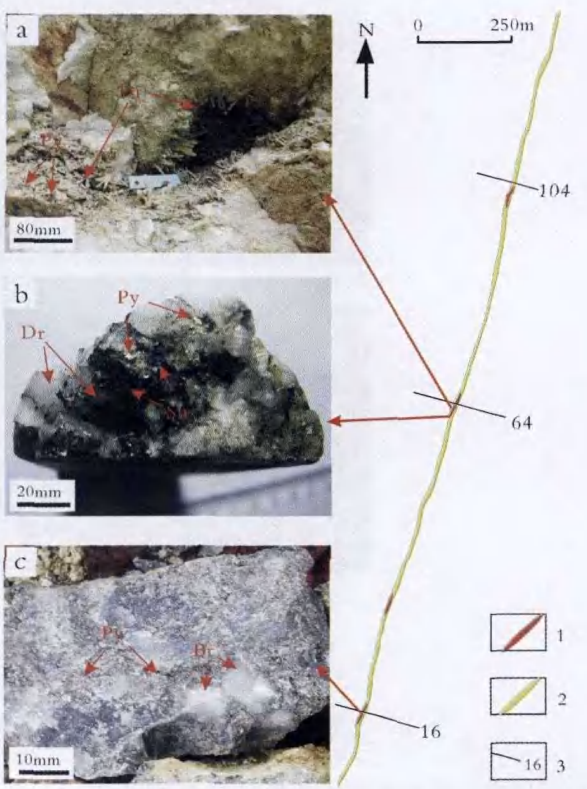


图 7 断裂构造控矿简图

Fig. 7 Diagram showing fault ore-controlling

1—矿体;2—含金石英脉;3—勘探线及编号。a—含矿石英脉中的石英晶洞;b—石英晶洞中的原生矿石;c—含有石英角砾的地表原生矿石。Py—黄铁矿;Su—多金属硫化物;Dr—石英晶簇; Br—石英角砾

向 SW 向侧伏;倾向 SE 者,控制的矿体均向 NE 向侧伏。这种控矿规律表明:控矿断裂在成矿期是在统一的应力环境下有规律的构造启开的。区内金矿体大多呈透镜体状或似层状产出,走向 NNE,倾向 SE,结合Ⅰ号矿体勘探线联合剖面图,得出 48 线以南矿体向 SW 侧伏,48 线以北向 NE 侧伏(图 4),与上述规律略有差异,深部矿体侧伏方向有待进一步验证。

(4)断裂多期活动控矿

观察区内钻孔岩心发现,矿化好的矿段均为断裂多期活动的部位[22-24],这些部位一般都是构造薄弱带,多期含矿热液侵入和反复叠加,最终沉淀富集成矿。

5　找矿预测和找矿方向

5.1　矿体隐伏特征

为了研究矿体的隐伏特征,以Ⅰ-1 和Ⅰ-2 号矿体为对象,结合Ⅰ号矿体垂直纵投影图(图 3),采集区内探槽和钻孔矿石标本 24 件,结合矿山地测科的实际地质资料,分别获取Ⅰ-1 和Ⅰ-2 号矿体品位、厚度数据点 24 个。据所收集的数据编制了矿体品位、厚度等值线图(图 8、图 9)。由此可见,金品位与矿体厚度具有很好的相关性,均出现明显的孤岛状高值区,它们在水平方向上近乎等间距地分布。在垂深上 32 线以南高值区有向 SW 侧伏的趋势,40 线以北高值区有向 NE 侧伏的趋势。结合前文关于该区金矿体侧伏方向的分析,初步认为:8 线与 16 线之间金品位高值区在-200m 水平以下呈现向 SW 方向延伸的趋势,120 线附近金品位高值区在-200m 水平以下呈现向 NE 方向延伸的趋势,推测这 2 处可能存在矿化的深部延伸。

5.2　控矿因素与找矿方向

根据照岛山金矿区乃至整个牟乳成矿带的成矿规律,总结控矿因素如下。

(1)岩体及接触带。荆山群变质岩与昆嵛山岩体的内接触带、多期侵入岩的接触部位及附近的岩体都是成矿的有利场所。

(2)断裂。金牛山主断裂走向 NE 的拐折地段,NE 向与 NNE 向断裂的交会处及附近,存在多期构

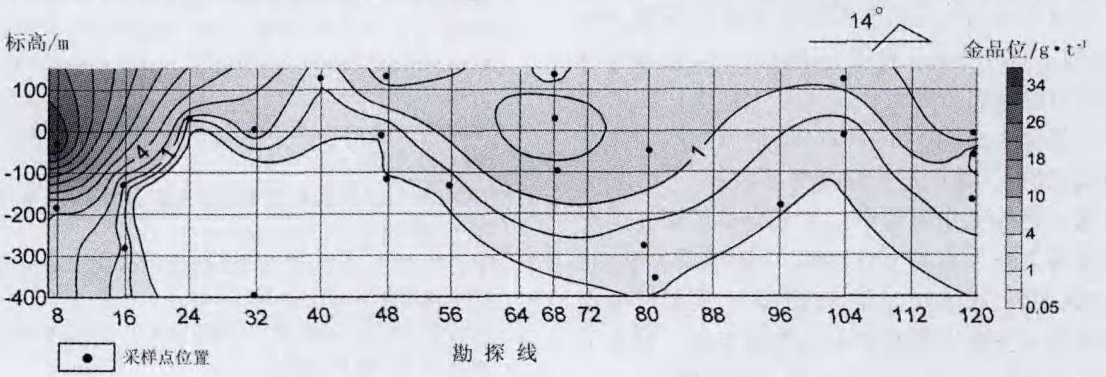


图 8　照岛山金矿区Ⅰ号矿体金品位等值线垂直纵投影图

Fig. 8　Vertical projection of gold grade of No.I orebody in the Zhaodaoshan gold deposit

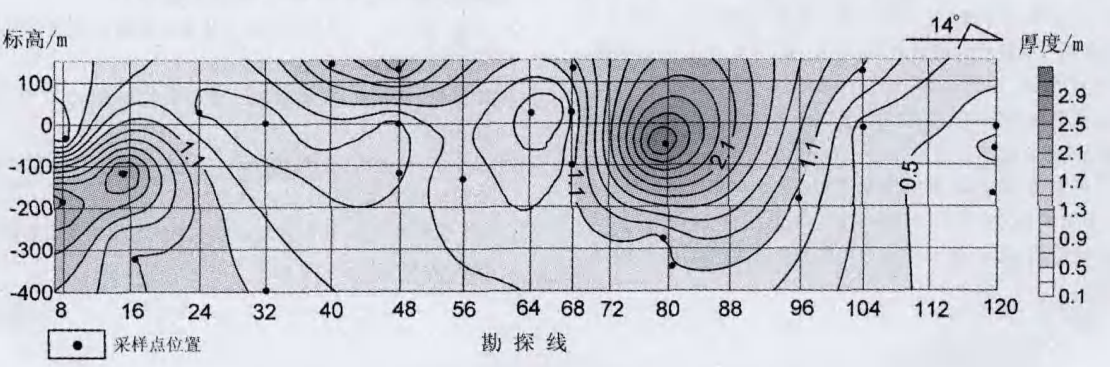


图 9　照岛山金矿区Ⅰ号矿体厚度等值线垂直纵投影图

Fig. 9　Vertical projection of thickness of No.I orebody in the Zhaodaoshan gold deposit

造活动破碎带的部位,都是矿体易富集部位。

(3)成矿阶段和矿物组合。根据区内矿体的矿化阶段和矿物共生组合规律得出:成矿阶段发育齐全,各阶段成矿物质相互叠加,而且主成矿阶段的多金属硫化物组合越复杂,特别是烟灰色石英含有细粒黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等硫化物,都利于形成富矿体。

(4)围岩蚀变。根据蚀变围岩的带状分布特点,存在绢英岩化、黄铁绢英岩化的蚀变带和钾长石化广泛且强烈的蚀变带,都预示着金矿化的存在。

根据照岛山金矿区的岩性特征、控矿构造和矿体隐伏特征,认为矿区内8~16线地段、64~68线地段和96~120线地段具有良好的找矿前景。这3处均是荆山群与昆嵛山岩体接触带的部位,均处于金牛山主断裂NE向拐折段,围岩蚀变类型发育齐全、钾长石化强度大、分带现象明显;钻孔岩心在近矿部位较破碎,是成矿的有利部位。

此外,8线钻孔-300m以下见富金的蚀变大理岩矿石,品位4.72×10^{-6},厚度2.4m;16线矿体-280m处见蚀变大理岩并出现分枝且深部未见闭合现象;96~120线地段-200~-300m发现有昆嵛山二长花岗岩中捕获的荆山群变质岩残留体,而且120线钻孔中出现金平均品位3.25×10^{-6}的盲矿体。推测这些地段有良好的找矿前景,建议进行深部探矿控制。

致谢:野外工作得到烟台牟平金矿任曙光副矿长及地测科工作人员的大力协助,中国地质大学(北京)赵国春老师、张华锋老师、曹烨博士、周起凤硕士和中国地质调查局发展研究中心李真真硕士提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

[1]郭敬辉,陈福坤,张晓曼,等.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,2005,21(4):1281-1301.

[2]张华锋,翟明国,何中甫,等.胶东昆嵛山杂岩中高锶花岗岩地球化学成因及其意义[J].岩石学报,2004,20(3):369-380.

[3]胡芳芳,范宏瑞,杨奎峰,等.胶东牟平邓格庄金矿床流体包裹体研究[J].岩石学报,2007,23(9):2155-2164.

[4]赵懿英,胡受奚,徐兵,等.山东胶北地体的前寒武纪地层问题[J].中国区域地质,1995,(3):272-279.

[5]张德全,徐洪林,孙桂英.山东邓各庄金矿与昆嵛山花岗岩的定位时代及其地质意义[J].地质评论,1995,41(5):415-424.

[6]陈光远,孙岱生,邵岳.胶东昆嵛山二长花岗岩副矿物成因矿物学研究[J].现代地质,1996,10(2):175-186.

[7]李胜荣.胶东东部基底构造层在金矿成矿中的贡献:矿物岩石地球化学新探索[M].北京:地震出版社,1993.

[8]李胜荣,陈光远,邵伟,等.胶东乳山金矿田成因矿物学[M].北京:地质出版社,1996:1-24.

[9]山东省地矿局.山东省区域地质志[M].北京:地质出版社,1990.

[10]Boyle R W. The geochemistry,origin and role of carbon dioxide, water,sulfur,and boron in the Yellowkiife gold deposits, Northwest Territories,Canada[J].Economical Geology,1959,54:1506-1534.

[11]裘有守,王孔海,崔克英,等.山东牟平-乳山地区变质岩和花岗岩含金性及其与金矿成矿关系[C]//中国金矿主要类型区域成矿条件文集(5,胶东地区).北京:地质出版社,1988:120-177.

[12]高太忠,赵伦山,杨敏之.山东牟乳金矿带成矿演化机制探讨[J].大地构造与成矿学,2001,25(2):155-160.

[13]申萍,沈远超,李光明,等.胶东金牛山金矿床构造-流体-成矿作用体系研究[J].地质科学,2004,39(2):272-283.

[14]万天丰,朱鸿.中国及邻区各地块中新生代运动学特征与构造应力场[C]//地质科学研究论文集——献给第三十届国际地质大会地质科学.北京:中国经济出版社,1996:119-124.

[15]Kerrich R.The characteristics,origins and dynamic setting of super-giant gold metallogenic province[J]. Science in China(D),2000,43: 1-81.

[16]翟裕生,吕古贤.构造动力体制转换与成矿作用[J].地球学报,2002,23(2):97-102.

[17]邓军,翟裕生,杨立强,等.剪切带构造-流体-成矿系统动力学模拟[J].地学前缘,1999,6(1):115-127.

[18]吕古贤,郭涛,舒斌,等.胶东金矿集中区构造控岩控矿地质特征[J].地球学报,2006,27(5):471-478.

[19]吕古贤,林文蔚,李晓波,等.构造物理化学与金矿成矿预测[M].北京:地质出版社,1999.

[20]翟裕生,邓军,李晓波.区域成矿学[M].北京:地质出版社,1999.

[21]赵伦山,吴悦斌,叶荣,等.胶东金矿成矿构造——地球化学动力学研究[J].现代地质,1996,10(2):213-221.

[22]贺振,张学仁.山东牟乳金矿带构造控矿特征及综合预测[J].地质与勘探,2006,42(4):41-45.

[23]李士先,刘长春,安郁宏,等,胶东金矿地质[M].北京:地质出版社,2007.

[24]吴小雷,迟占东,王玲,等.金牛山金矿床综合信息找矿研究[J].黄金科学技术,2009,17(2):8-11.

① 山东省牟平金矿. 山东省烟台市牟平区邓格庄金矿接替资源勘查报告.2008.