

山东省焦家矿区深部超大型金矿床及其对 “焦家式”金矿的启示

宋明春¹⁾, 崔书学²⁾, 周明岭²⁾, 姜洪利²⁾, 袁文花²⁾, 魏绪峰²⁾, 吕古贤³⁾

1) 山东省地质矿产勘查开发局, 济南, 250013; 2) 山东省第六地质矿产勘查院, 山东招远, 265400;

3) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100083

内容提要:通过三年的地质勘查研究,发现了山东焦家矿区深部 105 吨特大型金矿床,圈定了 89 个矿体,归并为 4 个矿体群,其中 I-1 号主矿体沿焦家断裂主裂面分布。焦家矿区共探获金矿资源储量 230 多吨,成为世界级超大规模金矿床。通过焦家深部金矿床和浅部金矿床对比研究,揭示了新的金矿成矿规律:浅部金矿床和深部金矿床之间为无矿间隔或弱矿化带;金矿床矿体厚大部位在剖面上产于焦家断裂由陡变缓转折点下部;焦家带金矿床构成了沿“一条构造带、二段矿化富集带、三层矿化蚀变带”产出的矿床模式。通过同位素年龄测定,焦家断裂断层的 K-Ar 年龄为 131.05~123.53Ma 和 48.57~41.18Ma,早期指示断裂构造的主要形成期与金矿的主成矿期同步;晚期金矿的同位素年龄略晚于郭家岭花岗岩年龄,略早于崂山花岗岩年龄,位于伟德山花岗岩年龄值高峰段内,说明伟德山花岗岩岩浆活动是导致“焦家式”金矿成矿的直接因素。

关键词:深部金矿床;“焦家式”金矿;成矿规律;断裂活动时代;伟德山花岗岩

山东焦家金矿床是“焦家式”破碎带蚀变岩型金矿的典型产地,也是地质学家研究的重点矿床之一,已勘查、开发和研究了 40 余年。1967 年山东地质局 807 队发现了焦家金矿床,1967~1969 年开展了普查和详查工作,1969~1972 年开展了勘探工作,1975 年始建矿山,在矿山开发过程中开展了数次补充勘探或生产勘探。目前,在矿床中浅部(-500m 标高以浅)已累计探获金矿资源储量近 130 吨。自 1997 年开始,山东省地质矿产勘查开发局组织技术人员对该矿区 -500m 以下进行了深部找矿探索。2006 年深部找矿取得实质性进展,施工的 4 个钻孔于 -850~-950m 标高深度见到了焦家断裂主断面以下 I-1 号主矿体。2007~2008 年山东省第六地质矿产勘查院全面开展了焦家金矿床深部金矿详查,探求金矿资源量 105 余吨。至此,焦家金矿床于 -1330m 标高以浅累计探获金矿资源储量 230 多吨,成为一个世界级超大规模金矿床。

前人对胶东“焦家式”金矿进行了大量研究。虽然对金矿形成的地质构造背景、成矿规律、成矿作用等做了深入探讨,然而,对深、浅部金矿之间的关系、

焦家断裂的形成时间、与金矿直接相关的岩浆活动等问题还缺乏深入研究。本文在 2006~2008 年三年对深部金矿勘查研究的基础上,通过深浅部金矿床对比、同位素年龄测试,结合对金矿形成年龄、岩浆活动时代的分析,提出了焦家断裂带新的金矿成矿规律和“焦家式”金矿与断裂构造、岩浆活动的时间关系。

1 区域地质背景

胶东地区是我国重要的金矿集中区,其面积约占全国总面积的 0.17%,浓集了全国近四分之一的黄金资源储量,是全国最大的金矿集区,区内密集分布着胶西北(招平莱)、栖霞福、牟乳三个次级矿集区(翟明国等,2001)。牟乳矿集区分布于苏鲁超高压变质带与胶北地块之间,金矿床主要受牟(平)-即(墨)断裂带和金牛山断裂控制。栖霞福矿集区分布于胶北地块中部,金矿床赋存于前寒武纪变质岩系中,主要分布于不同构造层之间的层间滑动构造带、韧性剪切带、断裂裂隙带、花岗岩体边缘等部位。胶西北矿集区是胶东金矿资源最丰富的地区,分布于

注:本文为国家自然科学基金(编号 40672139)和山东省地质矿产勘查开发局地矿科技项目资助的成果。

收稿日期:2009-04-17;改回日期:2009-12-13;责任编辑:郝梓国。

作者简介:宋明春,男,1963 年生。博士,工程技术应用研究员。主要从事地质矿产勘查研究。通讯地址:250013,山东省济南市历山路 74 号,山东省地质矿产勘查开发局;电话:0531-86403464;Email:mingchuns@163.com。

胶北地块西部, 郯庐断裂东侧, 金矿床主要受招(远)一平(度)断裂、焦家断裂、三山岛断裂三条主干断裂构造控制, 构成胶西北三条主要的金矿带(图1)。

胶西北三条控矿断裂带构成一条大型伸展构造带, 其上盘前寒武纪变质岩系主要由新太古代胶东岩群、栖霞片麻岩套、马连庄变辉长岩和古元古代荆山群、粉子山群、莱州变辉长岩组成; 下盘主要为侏罗纪玲珑花岗岩, 局部有白垩纪郭家岭花岗岩、伟德山花岗岩和崂山花岗岩侵入其中(图1)。中生代沉积盖层分布于胶西北隆起南部的胶莱盆地中, 新生代沉积层主要沿海边和河流分布。胶西北焦家式

(蚀变岩型)、河西式(网脉型)、玲珑式(石英脉型)等金矿类型是同一构造作用、同一成因、同一时代的产物, 分别赋存于同一伸展构造带的不同构造部位。蚀变岩型矿石赋存于主断面附近, 其下为网脉状矿石; 脉状矿石远离主断面, 位于网脉状矿石之下, 充填于玲珑花岗岩中近直立的裂隙带中(宋明春等, 2008)。

焦家断裂北起龙口市黄山馆, 南至莱州市朱桥镇徐村院, 长约 30km, 宽 50~500m, 总体走向 35°~40°, 倾向北西, 倾角 16°~60°, 局部大于 70°。沿走向和倾向均呈舒缓波状展布, 膨胀收缩、分枝复合现象明显。基岩出露区大部分地段断裂沿早前寒武

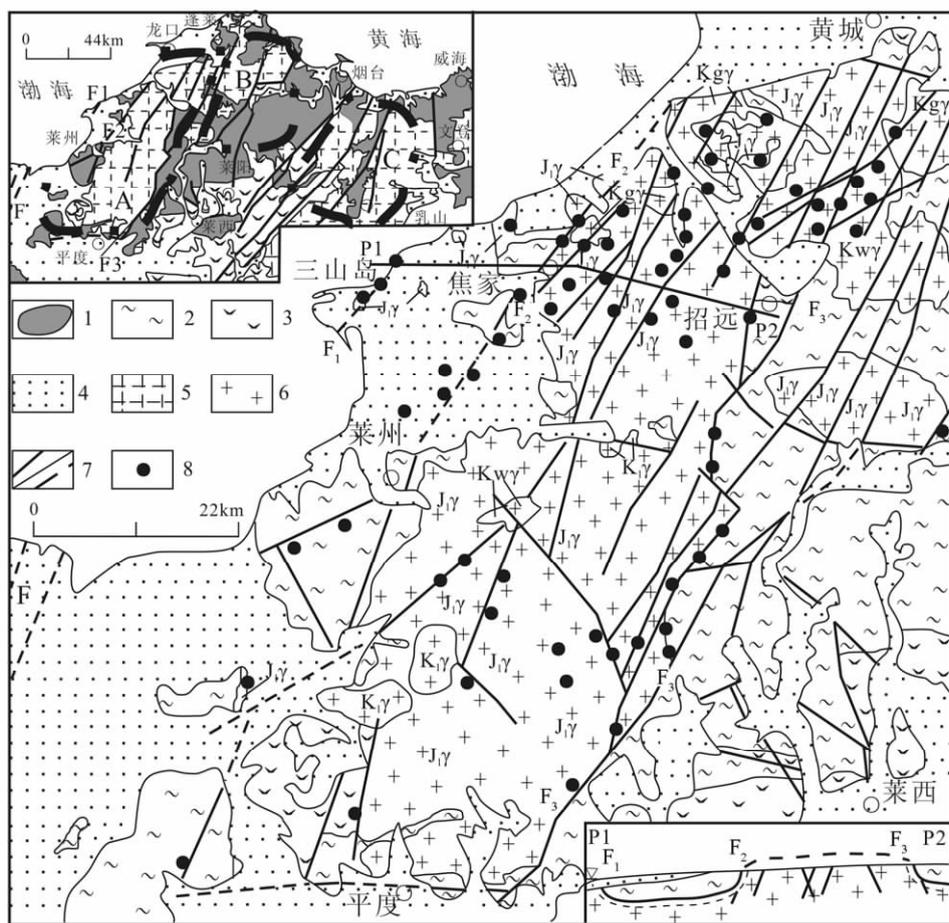


图 1 胶西北地区地质和金矿分布图

Fig. 1 Geological map and distribution of gold deposits of Jiaoxibei area

1,2—前寒武纪基底岩系;3—中生代沉积盖层;4—新生代沉积层;5,6—中生代花岗岩;7—出露/隐伏断裂;8—矿床(点);J₁γ—玲珑花岗岩;K_{gy}—郭家岭花岗岩;K_{wy}—伟德山花岗岩;K₁γ—崂山花岗岩。F—郯庐断裂带;F₁—三山岛断裂;F₂—焦家断裂;F₃—招平断裂;P₁, P₂—剖面位置;A—胶西北(招平莱)矿集区;B—栖霞福矿集区;C—牟乳矿集区

1,2—Precambrian basement complex; 3—Mesozoic caprock; 4—Cenozoic sedimentary cover; 5, 6—Mesozoic granite; 7—fault; 8—gold deposit. J₁γ—Linglong granite; K_{gy}—Guojialing granite; K_{wy}—Weideshan granite; K₁γ—Laoshan granite. F—Tanlu fault; F₁—Sanshandao fault; F₂—Jiaojia fault; F₃—Zhaoping fault; P₁, P₂—position of profile; A—Jiaoxibei ore deposits concentrating area; B—Qipengfu ore deposits concentrating area; C—Muru ore deposits concentrating area

纪地质体和玲珑花岗岩接触带展布,至深部断裂切入玲珑花岗岩中。沿断裂主裂面发育连续的 2~40cm 厚的灰黑色断层泥。系统的勘查工程揭示该断裂倾向具有上陡(60°~70°)下缓(16°~30°),北陡(60°~80°)南缓(25°~30°)的特点。

2 深部金矿床特征

2.1 矿体和矿体群划分

焦家矿区深部金矿床位于胶西北地区焦家金矿带南段,正在开采的焦家金矿西侧(图 2),剖面上位于焦家金矿床(中浅部)向 NW 倾斜方向自然延深的下部。主要产于玲珑花岗岩与早前寒武纪变质岩系的内接触带上,焦家断裂下盘。焦家断裂及其次级断裂控制了金矿体的产出。深部勘查区范围共圈定矿体 89 个,根据赋矿围岩特征和矿体与焦家主断裂的关系将其归并为 4 个矿体群。将邻近主裂面之下的黄铁绢英岩化碎裂岩带内赋存的矿体划为 I 号矿体群,其内圈定矿体 1 个,编号为 I-1,是区内主矿体,其资源量占总资源量的 87.27%;将 I 号矿体群之下的黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内赋存的矿体划为 II 号矿体群,共有矿体 11 个,编号为 II-11~II-21;将黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带之下的黄铁绢英岩化花岗岩带内赋存的矿体划为 IV 号矿体群,共有矿体 56 个,编号为 IV-1~IV-56;将主裂面之上零星分布的矿体划为 V 号矿体群,共有矿体 21 个,编号为 V-1~V-21,零星出现于部分勘探线剖面中。浅部矿床黄铁绢英岩化花岗岩带内赋存的陡倾矿体群称为 III 号矿体群(图 3)。

2.2 I-1 号主矿体

I-1 号矿体紧靠焦家断裂主裂面分布,位于断层泥带之下,赋存于黄铁绢英岩化碎裂岩带中,局部向下延入黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内(图 3)。与中浅部焦家金矿的 I-1 号主矿体在 104 至 128 线相连。

矿体由 54 个钻孔控制。最大走向长 960m,平均 750m;最大倾斜长 1370m,最大控制垂深 1120m,矿体埋深-500~-1080m。

矿体呈似层状、大脉状,具分枝复合、膨胀收缩等特点。产状与主裂面基本一致,走向 30°,倾向北西,倾角在 15°~30°间变化。-600~1000m 标高为矿体倾角变缓的转折部位,矿体厚大部位位于由陡变缓转折点下部,即倾角较缓部位。

2.3 I-1 号主矿体厚度、品位及变化

主矿体单工程平均厚度 0.91~37.82m,矿体平

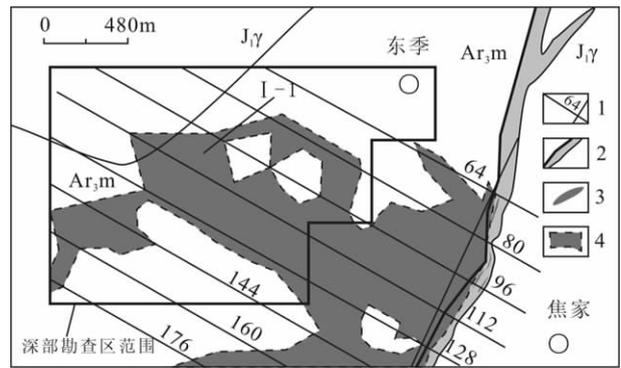


图 2 矿床地质图

Fig. 2 Geological map of the Jiaojia gold deposit

1—基线、勘探线及勘探线编号;2—焦家断裂及黄铁绢英岩化碎裂岩带;3—地表矿体出露位置;4—I-1 号主矿体水平投影位置;Ar₃m—新太古代马连庄变辉长岩;J₁γ—侏罗纪玲珑花岗岩
1—Base line, exploration lines and numbers; 2—Jiaojia fault and beresitization cataclastic zone; 3—Outcrop of ore body; 4—Horizontal perspective projection of the No. I-1 ore body; Ar₃m—Malianzhuang meta-gabbro; J₁γ—Linglong granite

均厚度 10.95m,厚度变化系数 78%,属厚度稳定型矿体。从厚度等值线图(图 4)看,浅部矿体走向长度(NNE 向)略大于深部矿体走向长度,在深部勘查区范围东南边缘深部矿体与浅部矿体连接部位矿体走向长度显著变短,厚度减薄,呈现收缩现象。厚度大于 20m 的等厚线出现 4 处极密中心,位于 80~112 线之间接近地表断裂的 2 个极密区是浅部矿体厚大部位,其深度大致相当于地表至-300m 标高范围;位于 96~160 线之间在深部勘查区范围内的 2 个极密区是深部矿体厚大部位,其深度范围大致相当于-500~-1100m 标高范围。4 处极密中心表现为右下方斜列特点。对 54 个钻孔的见矿厚度进行了统计,1~6m 厚的占 33.33%,6~16m 厚的占 48.15%,16~26m 厚的占 14.81%,大于 26m 厚的占 3.70%,说明 I-1 号矿体属厚度较大的矿体。

矿体单工程品位 1.01~11.97g/t,特高品位处理后的平均品位为 3.74g/t,品位变化系数为 116%,属有用组分分布较均匀型矿体。经统计,低于 4.00g/t 品位的样品占总样品数的 70.22%,4.00~16.00g/t 品位的样品占 26.30%,16.00~26.00g/t 品位的样品占 2.61%,大于 30.00g/t 品位的样品占 0.87%,反映出矿体以低品位矿石为主。

从品位等值线图(图 5)看,大致形成 3 个品位高值区,第一高值区位于地表至-350m 左右,是浅部矿体的矿化富集区;第二高值区相当深度为-500~-850m 左右,是深部矿体的上部矿化富集区;第

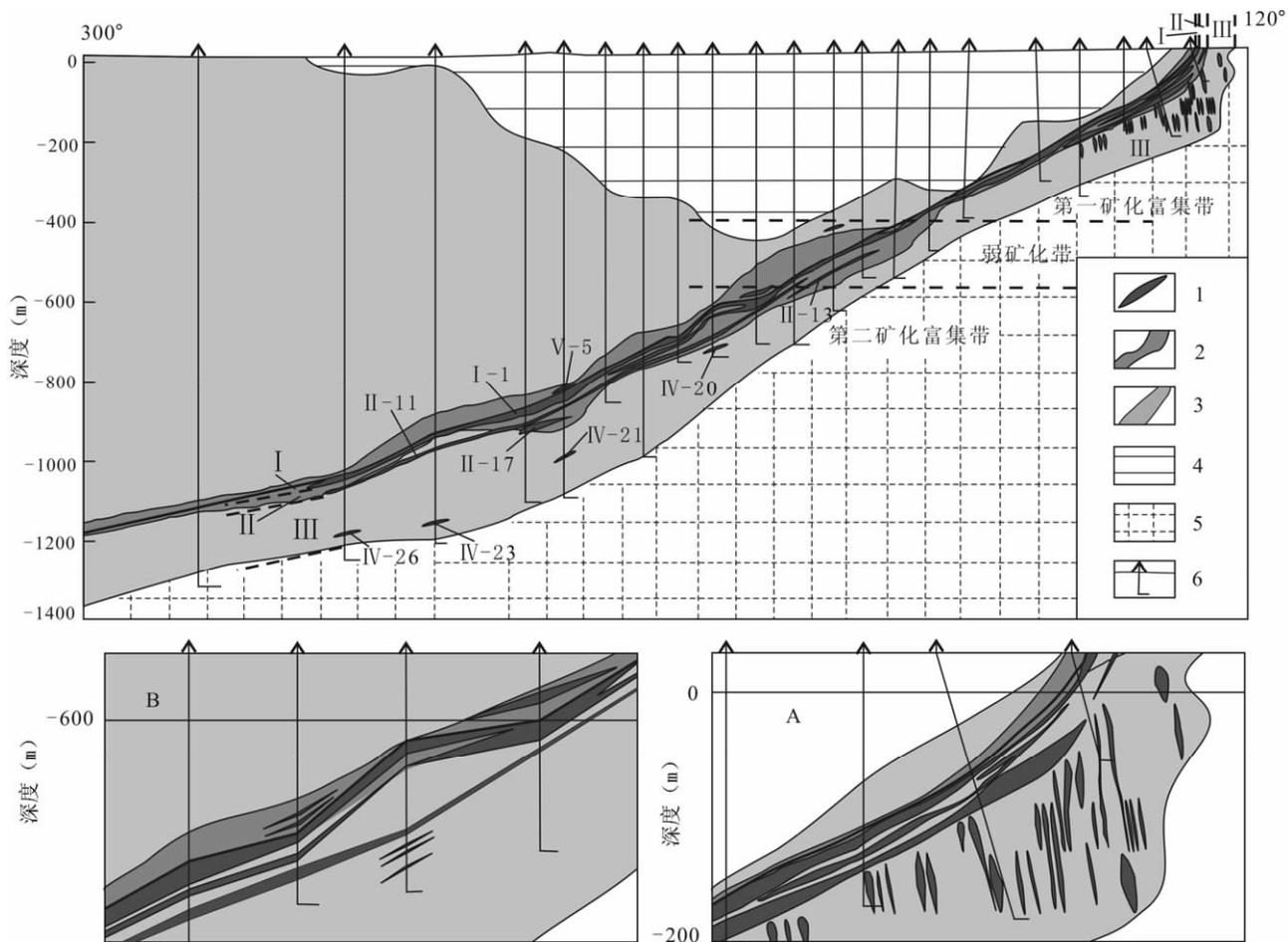


图 3 112 勘探线剖面图

Fig. 3 Profile of No. 112 exploration line

1—金矿体;2—黄铁绢英岩化碎裂岩带和黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带;3—黄铁绢英岩化花岗岩带;4—新太古代马连庄变辉长岩;5—侏罗纪玲珑花岗岩;6—钻孔位置. I, II, III—黄铁绢英岩化碎裂岩带,黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带和黄铁绢英岩化花岗岩带相对位置; I-1—I号矿体群矿体编号; II-17—II号矿体群矿体编号; IV-21—IV号矿体群矿体编号; V-5—V号矿体群矿体编号; A, 地表~ -200m 标高浅部矿体剖面图(上方图局部放大); B, -550~-780m 标高深部矿体剖面图(上方图局部放大)

1—Gold ore body; 2—The beresitization cataclastic zone and the beresitization granitic cataclastic zone; 3—The beresitization granite zone; 4—Malianzhuang meta-gabbro; 5—Linglong granite; 6—Location of drill hole. I, II, III—Location of The beresitization cataclastic zone, the beresitization granitic cataclastic zone and the beresitization granite zone; I-1—ore body number of No. I ore body group; II-17—ore body number of No. II ore body group; IV-21—ore body number of No. IV ore body group; V-5—ore body number of No. V ore body group; A, Profile of the shallow ore body; B, Profile of the deep ore body

三高值区相当深度为 -950 ~ -1100m 左右, 是深部矿体的下部矿化富集区。随距主裂面距离的由近到远, 样品品位有由高到低的变化趋势。高品位样品多分布在矿体厚度较大的部位, 品位与矿体厚度呈正相关。

2.4 其它矿体特征

其它矿体呈透镜状、薄饼状, 个别呈脉状, 绝大多数矿体赋存于 -470 ~ -1330m 标高间, 矿体倾向 290° ~ 317°, 倾角 13° ~ 30°。除 II-11 号矿体长 240m, 斜深 1320m 外, 其余矿体长 60 ~ 420m, 斜深 50 ~ 475m。这些矿体规模均较小, 产状与主矿体平

行。多数矿体长度与斜深接近或者斜深大于长度(斜深是长度的 2 ~ 5 倍)。

3 焦家断裂带金矿成矿规律

胶西北金矿成矿规律前人做过较多研究, 提出了一系列成矿规律, 主要有: 岩体和构造控矿规律、矿床分布和变化规律、赋矿规律、矿体产出规律等(李士先等, 2007; 李宏骥, 2002; 杨承海等, 2006)。焦家深部金矿床同样符合上述规律。对焦家矿区深部金矿床和浅部金矿床对比发现, 焦家断裂带金矿床(矿体、矿石)的主要分布、产出、变化规律还有:

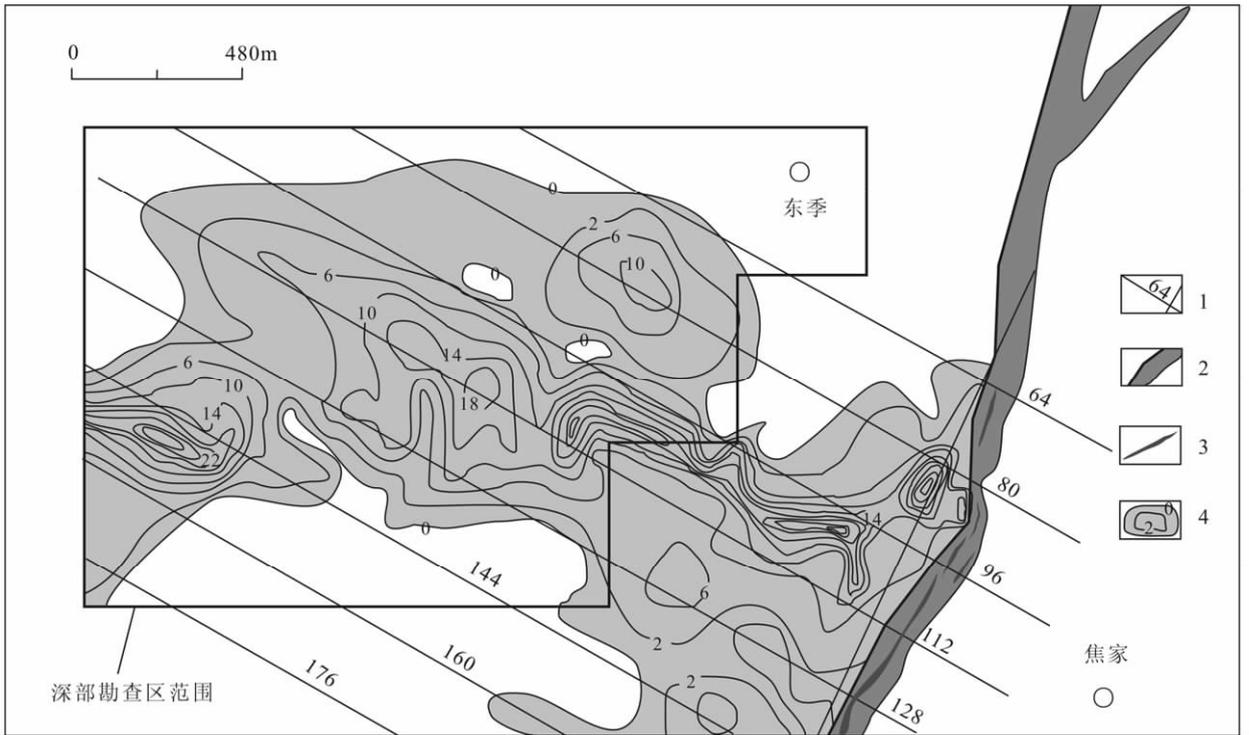


图4 I-1号矿体厚度等值线水平投影图

Fig. 4 Isopach map of thickness of the No. I-1 ore body

- 1—基线、勘探线及勘探线编号;2—焦家断裂及黄铁绢岩岩化碎裂岩带;3—地表矿体出露位置;4—矿体等厚线及厚度
1—Base line, exploration lines and numbers; 2—Jiaojia fault and beresitization cataclastic zone;
3—Outcrop of ore body; 4—Isopach and thickness

(1) 金矿床矿体厚大部位在剖面上产于焦家断裂由陡变缓转折点下部,即倾角较缓部位。在焦家矿区最大勘探深度—1400m以浅,焦家断裂产状表现有2段明显的转折,一是地表至—400m,断裂倾角由近70°渐变为45°左右,主矿体厚大部位出现于—100m以下产状明显变缓处(图3A),构成浅部金矿床;二是—600~—1000m,断裂倾角由45°左右渐变为16°,主矿体厚大部位出现于断裂产状明显变缓处(图3B),构成深部金矿床。

(2) 浅部金矿床和深部金矿床沿同一断裂构造倾斜方向分布,构成浅部第一矿化富集带和深部第二矿化富集带,二者之间为弱矿化带或无矿间隔。对I-1号主矿体分布特征研究发现:深部矿体与浅部矿体之间由垂深150m左右的弱矿化带连接(图5),弱矿化带表现为矿石金品位明显降低,矿体长度变短,矿体厚度明显减薄,矿体分枝复合、膨胀收缩变化明显。位于104~128线之间连接第一、第二矿化富集带的弱矿化带(图5中深部勘查区东南部边界附近),除少量样品金品位大于2g/t外,多数样品金品位为1~2g/t(图5),112线、120线单孔金平均品位分别是1.02~1.52g/t和1.11~1.82g/t,

如果按照评价金矿一般工业指标的最低工业品位圈矿,弱矿化带就变成了无矿间隔带;并且,在该段弱矿化带,矿体沿走向(NNE向)长度明显变短,是深部矿体长度的1/2,浅部矿体长度的1/3(图4);128线单孔矿体厚度仅1.3~2.28m;104线矿体分枝为数个薄矿体。各勘探线弱矿化带出现的深度位置有差异,104线位于垂深—300~—450m左右,128线位于垂深—440~—600m左右,其它勘探线位于垂深—400~—550m左右。在80线至96线之间,深、浅部矿体不连续,无矿间隔位于垂深—400~—550m左右;在136~176线之间,深、浅部矿体亦不连续,无矿间隔出现于垂深—350~—900m左右和—500~—1000m左右。分析表明,第一矿化富集带位于地表至垂深—350~—500m之间,第二矿化富集带位于垂深—450~—900m以下,两段矿化富集带之间的垂直距离在150~550m之间。位于焦家矿区南侧的莱州寺庄矿区浅部金矿与深部金矿呈不连续分布,二者之间有100~250m垂深的无矿间隔(宋明春等,2008)。因此,第一矿化富集带和第二矿化富集带表现为尖灭再现或矿化变弱、厚度变薄、长度收缩关系。以往地质工作设计的部分钻孔多打

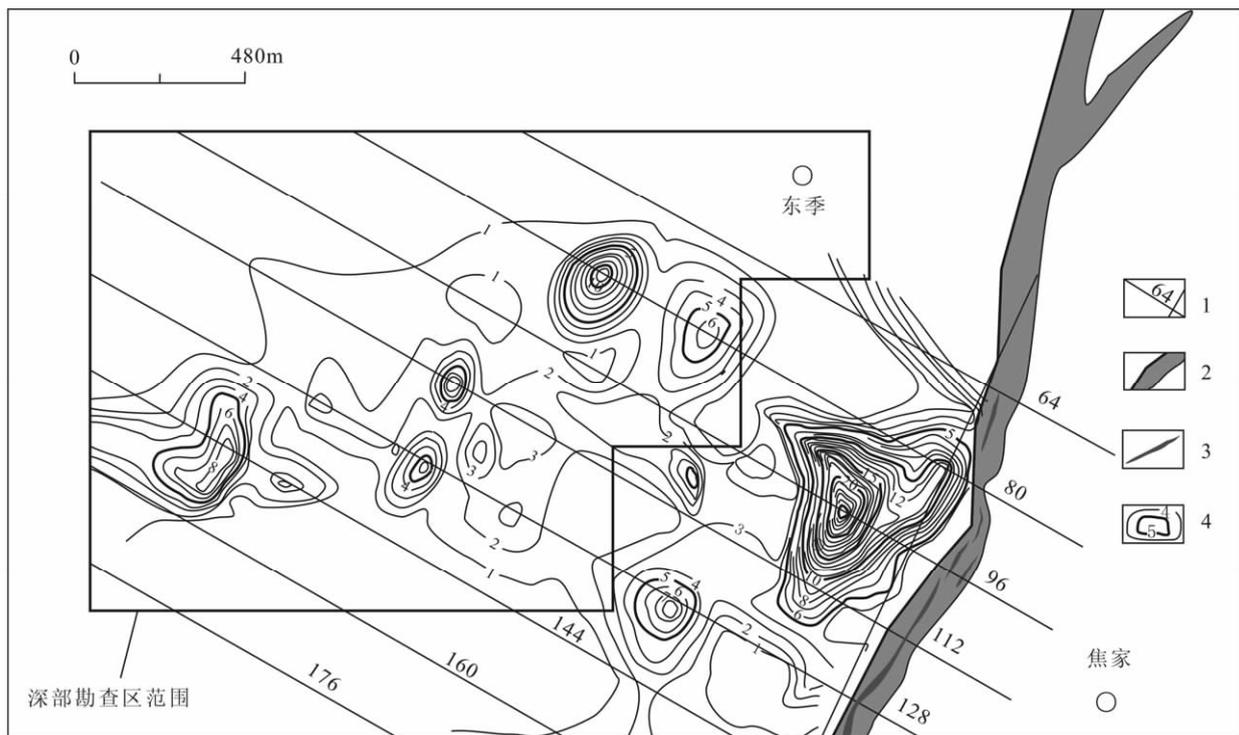


图5 I-1号矿体品位等值线水平投影图

Fig. 5 Isopach map of grade of the No. I-1 ore body

- 1—基线、勘探线及勘探线编号;2—焦家断裂及黄铁绢英岩化碎裂岩带;3—地表矿体出露位置;4—品位等值线及品位
1—Base line, exploration lines and numbers; 2—Jiaojia fault and beresitization cataclastic zone;
3—Outcrop of ore body; 4—Isopach and grade

在弱矿化带或无矿间隔带上,导致没能及时探明深部金矿。

(3) 主断面以下矿化蚀变分带特点明显,分为黄铁绢英岩化碎裂岩带、黄铁绢英岩化花岗岩碎裂岩带和黄铁绢英岩化花岗岩带(或钾化花岗岩)三层蚀变带,矿石类型则由浸染状蚀变岩型矿石渐变为蚀变岩和石英细脉复合型网脉状矿石,再变为石英细脉型矿石。

总之,焦家带金矿床构成了沿“一条构造带、二段矿化富集带、三层矿化蚀变带”产出的矿床模式。

(4) 控矿的焦家主干断裂在垂深400m以浅(112线)基本沿玲珑花岗岩与前寒武纪变质岩系接触带分布,400m以深断裂切入玲珑花岗岩中。因此,第一矿化富集带中主矿体大致沿玲珑花岗岩与前寒武纪变质岩系接触带展布;而第二矿化富集带中金矿主矿体则产于玲珑花岗岩内接触带中。

(5) 在断裂产状较缓部位矿体均平行于主断面分布,在断裂产状由陡变缓部位主矿体仍然平行于主断面分布,但Ⅲ号矿体群出现与主断面大角度斜交的陡倾或反倾矿体,这是断裂由陡变缓引起下盘张裂产生的结果。

(6) 深、浅部主矿体长度接近,浅部主矿体走向长700~1090m,平均857m。但深部主矿体斜深及斜深与长度之比大于浅部主矿体,浅部主矿体最大倾斜长1100m,最大斜深与长度比是1.01(深部比值为1.43)。

(7) 深部矿床矿石品位低于浅部矿床。浅部主矿体金平均品位7.13 g/t。

(8) 深部金矿矿石质量有变化。由浅至深自然金比值增高,金矿物构成:浅部自然金占4%,深部占71%;浅部金成色670.07,深部826.85,由浅而深金成色增高,指示成矿温度增高;深部金矿物粒度变细,据统计浅部矿床中粒级以上粒级和细粒以下粒级的金矿物分别占9.14%、87.85%,而深部矿床则分别为3.38%、96.62%。

4 “焦家式”金矿有关问题讨论

4.1 焦家断裂活动时代

深部金矿勘查钻探工程控制焦家断裂最大斜深2749m,走向 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$,倾向北西,倾角 $16^{\circ}\sim 45^{\circ}$,由较浅部向深部断裂倾角逐渐变缓,近地表的浅部倾角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,构成了一条大型铲状断层。它与招平

断裂、三仓断裂共同构成了一条大致沿玲珑花岗岩与早前寒武纪地质体边界分布的大型伸展构造带(宋明春等,2008)。断裂多期活动特征比较明显,一般认为成矿前断裂经受了左行压扭性活动,形成糜棱岩;成矿期断裂活动属右行张扭性质,为成矿流体运移、沉淀提供了有利空间,成矿后断裂以压性为主兼扭性;多数人认为主成矿期断裂活动表现为右行(旋)张扭性或右行张剪作用(汪劲草等,2003;苗来成等 1997;李厚民等 2002;李俊建等 2005),也有人认为焦家主断裂与矿化有关的脆性断裂活动早期为压扭性破碎带,晚期为一组短粗张扭性裂面占主导地位的裂隙(徐刚等,1998)。断裂多期活动的直接证据是在勘查工程中发现白色和灰黑色二种断层泥,白色断层泥叠加于灰黑色断层泥上部。

在主要勘探钻孔采集了 4 件深部新鲜的断层泥样品,在马塘金矿采矿巷道中采集了一件新鲜的断层泥样品,其中 2b-3 号和 1b-3 号样品为白色断层泥,其余样品为灰黑色断层泥。将 5 件样品送至北京大学造山带与地壳演化重点实验室进行了 K-Ar 同位素年龄测试(表 1),氩同位素分析所用质谱仪型号 RGA10,钾含量分析所用火焰光度计型号 6400。测试结果表明,同位素年龄分为两组,灰黑色断层泥年龄为 131.05~123.53Ma,白色断层泥年龄为 48.57~41.18Ma,指示焦家断裂早期活动时代为早白垩世,晚期活动时代为古近纪。

4.2 金矿与焦家断裂活动的关系

许多研究者采用多种方法测试了胶东金矿的成矿年龄(李厚民等,2003;李华芹等,1993;李兆龙等 1993;骆万成等,1987;杨忠芳等,1998;杨进辉等,2000;翟建平等,1998;张连昌等,2002;张振海等,

1994;Yang J H et al.,2000;Zhang L C et al.,2003;Zhang X O et al.,2003),年龄数据集中于 130~110Ma,多数研究者认为金主成矿期年龄为 125~115Ma。可见,焦家断裂的早期活动年龄与金矿成矿年龄接近,断裂构造的主要形成期与金矿的主成矿期是同步的,属早白垩世成矿期断裂。古近纪时,由于太平洋板块向西俯冲于欧亚板块之下,所产生的弧后拉张效应及郯庐断裂中段强烈拉张作用影响,断裂构造受到叠加改造,产生成矿后断裂,已形成的金矿体也相应受到断裂的破坏。

4.3 花岗岩与金矿关系

胶东地区中生代花岗岩类侵入岩非常发育,研究者普遍认为金矿的形成与中生代岩浆活动关系密切。并且认为,玲珑花岗岩或郭家岭花岗岩为金矿成矿的直接矿源岩,郭家岭花岗岩岩浆期后热液活动是导致金矿成矿的直接原因(李士先等,2007)。对山东 177 件中生代岩浆岩 K-Ar 同位素年龄数据和 112 件 U-Pb 同位素年龄数据(后者还包括部分 ³⁹Ar-⁴⁰Ar、Rb-Sr 等时线和 Sm-Nd 等时线年龄数据)分别统计(图 6)表明:岩浆岩同位素年龄介于 250~60Ma 之间,形成 3 个年龄集中段:230~200Ma、160~140Ma 和 135~90Ma,指示山东省经历了三叠纪、侏罗纪和白垩纪 3 个岩浆活动阶段,其中侏罗纪和白垩纪岩浆活动最为发育。胶东侏罗—白垩纪花岗岩类主要包括 4 种类型:陆壳重熔型玲珑花岗岩,形成于 160~140Ma(苗来成等,1998),壳幔混合型郭家岭花岗岩,形成于 130~126Ma(Wang L,et al.,1998;罗镇宽等,2002);壳幔混合型伟德山花岗岩,年龄值范围多在 135~85Ma,集中于 127~105Ma;碱质 A 型崂山花岗岩,年龄值集中于 115.4

表 1 焦家断裂断层泥 K-Ar 同位素年龄测试结果表
Table 1 K-Ar isotopic analyses on the selvage from the Jiaojia fault

样品号	采样位置	K 含量 (%)	样品重量 (g)	放射成因 ⁴⁰ Ar		³⁸ Ar 10 ⁻¹¹ mole	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	³⁶ Ar/ ³⁸ Ar	表观年龄(Ma)
				mol/g	%				
5b-1	马塘金矿 169 线—370m	3.4535	0.0145	7.66E-10	331.14	2.21	0.15198±0.004660	—0.00120±0.0000655	123.53±1.74
4b-2	Zk953 孔 884.2m	4.7221	0.0158	0.11E-10	192.22	2.21	0.41478±0.000698	—0.00131±0.0000820	131.05±1.90
3b-2	Zk944 孔 621.45m	3.399	0.0155	7.74E-10	370.66	2.21	0.14667±0.001478	—0.00136±0.0001200	126.69±5.79
2b-3	Zk948 孔 784m	3.39	0.0159	2.89E-10	32.13	2.21	0.64917±0.000851	0.00152±0.0000361	48.57±3.28
1b-3	Zk942 孔 374m	5.15	0.016	3.72E-10	44.50	2.21	0.60616±0.000263	0.00116±0.0000323	41.18±2.02

测钾分析者:张蕤,测氩分析者:苗国均。计算所用参数:衰变常数 λ=5.543×10⁻¹⁰/年,40K/ΣK=1.167×10⁻⁴。

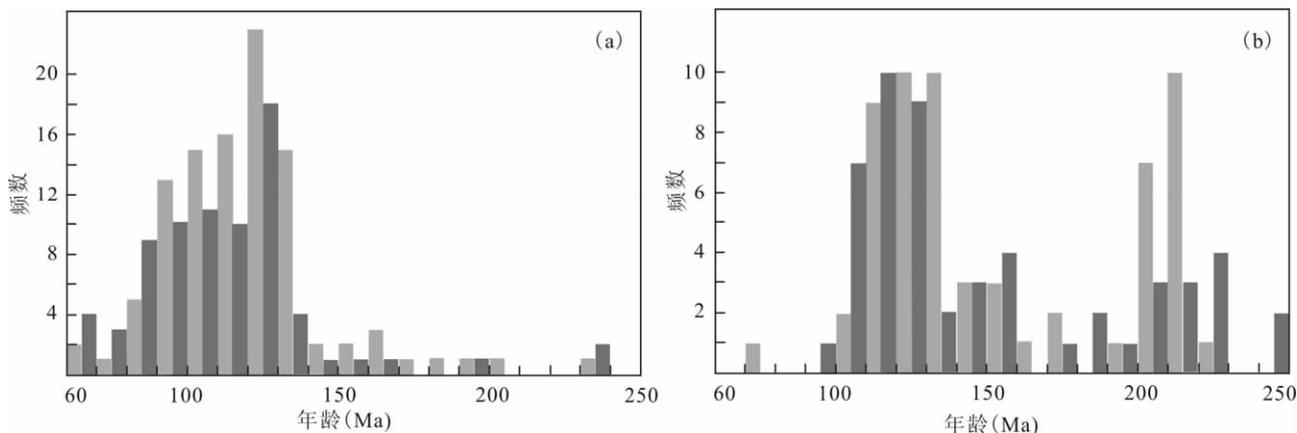


图 6 中生代岩浆岩同位素年龄统计直方图(据宋明春等,2009)

Fig. 6 Histogram of available geochronological data for the Mesozoic plutons, Shandong Province

(a)—K-Ar 同位素年龄;(b)—U-Pb,³⁹Ar-⁴⁰Ar,Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄
(a)—K-Ar ages; (b)—U-Pb,⁴⁰Ar/³⁹Ar,Rb/Sr,and Sm/Nd isochronologic data

~90Ma(宋明春等,2003)。可见金矿的同位素年龄略晚于郭家岭花岗岩年龄,略早于崂山花岗岩年龄,位于伟德山花岗岩年龄值高峰段范围内。

虽然玲珑花岗岩和郭家岭花岗岩常常是金矿的直接围岩,但是研究表明,金矿的成矿深度与花岗岩的就位深度是有差别的,由于金矿成矿流体系统的温度(集中在 200~350℃)远低于岩浆温度(>573℃),因此,就同一区域而言,无论成矿流体系统是否与岩浆系统有联系,成矿流体系统的发育深度都应浅于岩浆系统;同时,成矿流体系统的密度远低于岩浆,也决定了成矿流体系统发育深度浅于岩浆系统(陈衍景等,2004)。也就是说胶东金矿成矿时,其直接围岩必定已抬升至流体成矿的深度,成矿流体活动与这种(直接围岩)岩浆活动没有必然的联系。另外,金矿并非总是与玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩相伴产出,在栖霞、福山等地的变质岩系内部及胶莱盆地东北缘的中生代地层底部也有较多金矿分布。郭家岭花岗岩主要分布于蓬莱—招远一带,分布范围远小于金矿的范围,其产生的岩浆期后热液恐难达到金矿范围。因此,我们认为壳幔混合成因的郭家岭花岗岩既不是金矿成矿的直接矿源岩,也不是导致金矿成矿的直接原因,但由于郭家岭花岗岩形成时代与金矿成矿时代接近,其与围岩的接触带是金矿赋存的有利部位,因此在其周围形成诸多金矿床。而与金成矿同期的伟德山花岗岩及相关脉岩,分布面积大、范围广,是胶东地区中生代规模最大的一种花岗岩类型,其产生的热量足以造成强烈的流体活动及金的大范围迁移、富集,伟德山花岗岩是金矿成矿的直接原因,在金矿成矿作用中起到了

“热机”作用。

5 结论

(1)焦家深部金矿床主要矿体赋存于-470~-1330m 标高间,共有 89 个矿体组成,归并为 4 个矿体群。其中 I-1 号主矿体沿焦家断裂主裂面分布,最大走向长 960m,最大倾斜长 1370m;平均厚度 10.95m,厚度变化系数 78%,属厚度稳定型矿体;平均品位 3.74 g/t,品位变化系数 116%,属有用组分分布较均匀型矿体。主矿体在 104 至 128 线之间与中浅部焦家金矿主矿体连接。

(2)金矿床矿体厚大部位在剖面上产于由陡变缓转折点下部,焦家矿区断裂产状表现有 2 段明显的转折,一是地表至-400m,断裂倾角由近 70°渐变为 45°左右,二是-600~-1000m,断裂倾角由 45°左右渐变为 16°。金矿沿这 2 段产状转折带构成浅部第一矿化富集带和深部第二矿化富集带,二者之间为垂直距离 150~550m 的弱矿化带或无矿间隔,矿化富集带之间表现为尖灭再现、膨胀收缩关系。

(3)焦家带金矿床构成了沿“一条构造带、二段矿化富集带、三层矿化蚀变带”产出的矿床模式。

(4)对焦家断裂断层泥的同位素年龄测试表明,存在二期断裂活动:131.05~123.53Ma 和 48.57~41.18Ma,前者与金矿成矿年龄接近,说明断裂构造的主要形成期与金矿的主成矿期同步。

(5)金矿的同位素年龄略晚于郭家岭花岗岩年龄,略早于崂山花岗岩年龄,位于伟德山花岗岩年龄值高峰段范围内,伟德山花岗岩岩浆活动是导致金矿成矿的直接因素。

致谢:杨天南博士帮助处理了同位素年龄样品,野外工作在山东省第六地质矿产勘查院的组织下完成,审稿专家提出了宝贵的建设性意见,特此一并致谢。

参 考 文 献

- 陈衍景, Franco P, 赖勇, 等. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境. 岩石学报, 20(4): 907~922.
- 李宏骥. 2002. 胶北地区内生金矿成矿规律. 山东地质, 18(3-4): 72~77.
- 李厚民, 沈远超, 刘铁兵. 2002. 胶东西北部焦家式与玲珑式金矿的成因联系. 矿床地质, 21(增刊): 621~624.
- 李厚民, 毛景文, 沈远超, 等. 2003. 胶西北东季金矿钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄及其意义. 矿床地质, 22(1): 72~77.
- 李华芹, 刘家齐, 魏琳. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 126.
- 李俊建, 罗镇宽, 刘晓阳, 等. 2005. 胶东中生代花岗岩及大型-超大型金矿床形成的地球动力学背景. 矿床地质, 24(4): 361~372.
- 李士先, 刘长春, 安郁宏, 等. 2007. 胶东金矿地质. 北京: 地质出版社, 232~275.
- 李兆龙, 杨敏之. 1993. 胶东金矿床地质地球化学. 天津: 天津科学技术出版社.
- 骆万成, 伍勤生. 1987. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄. 科学通报, 32: 1245~248.
- 罗镇宽, 苗来成. 2002. 胶东招徕地区花岗岩与金矿. 北京: 冶金工业出版社.
- 苗来成, 罗镇宽, 关康, 等. 1997. 胶东招徕金矿带控矿断裂演化规律. 地质找矿论丛, 12(1): 26~35.
- 苗来成, 罗镇宽, 关康, 等. 1998. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U-Pb 年龄及其岩石学意义. 岩石学报, 14(2): 198~206.
- 宋明春, 崔书学, 杨之利, 等. 2008. 山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义. 地质与勘探, 44(1): 1~8.
- 宋明春, 徐军祥, 王沛成, 等. 2009. 山东省大地构造格局和演化. 北京: 地质出版社.
- 宋明春, 王沛成, 梁帮启, 等. 2003. 山东省区域地质. 济南: 山东省地图出版社, 25~720.
- 汪劲草, 夏斌, 汤静如. 2003. 对玲珑—焦家矿集区几个关键地质问题的认识. 大地构造与成矿学, 27(2): 147~151.
- 徐刚, 郑达兴, 温长顺. 1998. 胶东焦家断裂带与金矿的成生关系. 地质力学学报, 4(2): 53~58.
- 杨承海, 石玉臣, 刘长春, 等. 2006. 山东省焦家金成矿带大比例尺成矿预测中地质模型的研究与应用. 山东国土资源, 22(5): 34~37.
- 杨进辉, 周新华, 陈立辉. 2000. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其地质意义. 岩石学报, 16(3): 454~458.
- 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山. 1998. 胶东区域地壳演化与金矿成矿作用地球化学. 北京: 地质出版社, 101.
- 翟建平, 徐光平, 胡凯, 等. 1998. 栖霞金矿矿物、流体和同位素特征及其意义. 矿床地质, 17: 307~313.
- 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 2001. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用. 中国科学 D 辑, 31(7): 545~551.
- 张连昌, 沈远超, 刘铁兵, 等. 2002. 山东胶莱盆地北缘金矿 Ar-Ar 法和 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代. 中国科学 D 辑, 32: 727~734.
- 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 1994. 胶东金矿同位素年龄的厘定. 北京: 地震出版社, 56.
- Wang L, Qiu Y, McNaughton N J, et al. 1998. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northeastern Jiaodong peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids. Ore Geology Reviews, 13: 275~291.
- Yang J H, Zhou X H. 2000. The Rb-Sr isochron of ore and pyrite sub-samples from Linglong gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China and their geological significance. China Sci bull, 45: 2272~2276.
- Zhang L C, Shen Y C, Liu T B, et al. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and Rb-Sr isochron dating of the gold deposits on northern margin of the Jiaolai Basin, Shandong, China. Sci China Ser D—Earth Sci, 46(7): 708~718.
- Zhang X O, Cawood P A, Wilde S A. 2003. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsula, China. Mineralium deposit, 38: 141~153.

The Deep Oversize Gold Deposit in the Jiaojia Field, Shandong Province and Its Enlightenment for the Jiaojia-type Gold Deposits

SONG Mingchun¹⁾, CUI Shuxue²⁾, ZHOU Mingling²⁾, JIANG Hongli²⁾,
YUAN Wenhua²⁾, WEI Xiufeng²⁾, LÜ Guxian³⁾

1) Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Jinan, 250013;

2) No. 6 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Zhaoyuan, Shandong, 265400;

3) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100083

Abstract

Three years of geological exploration found a 105-ton deep oversize gold deposit and defined 89 orebodies in the Jiaojia field, Shandong province. They are classified into four orebody groups, in which the I-1 main orebody was found to occur along the major fault surface of the Jiaojia fault. The total reserves of gold in the Jiaojia deposit amounts to 230 ton or so, and made it one of world-class largest gold deposits. Comparison study of gold deposits located at both depth and shallow reveals the law of gold mineralization. The results show that there is no ore-free interval or weak mineralized zones between them and thick gold orebodies occur below the turning point from steep to flat of the Jiaojia fault. Mineralization model of the Jiaojia gold belt is characterized by "one tectonic belt, two mineralized enrichment zones and three mineralized alteration zones". The K-Ar isotopic ages of the Jiaojia fault are 131.05 ~ 123.53Ma and 48.57 ~ 41.18Ma, indicating that the fault formed synchronously as major mineralization. But the age of the gold mineralization, which is later than that of the Guojialin granite but earlier than that of the Laoshan granite, is consistent with the peak values of the Weideshan granite ages, and that indicates that the magmatic activity of Weideshan granite is the direct factor for the mineralization of the Jiaojia-type gold deposit.

Key words: deep gold deposit; "Jiaojia-type" gold; metallogenic law; age of the fault; Weideshan granite