

编号: 0258-7106(2011)05-0923-10

胶东焦家特大型金矿床深、浅部矿体特征对比*

宋明春¹, 宋英昕², 崔书学³, 姜洪利³, 袁文花³, 王化江³

(1 山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013; 2 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 3 山东省第六地质矿产勘查院, 山东 招远 265400)

摘要 焦家特大型金矿床由以往提交的焦家金矿床、马塘金矿床、寺庄金矿床和近年来发现的寺庄深部金矿床、马塘深部金矿床、焦家深部金矿床组成, 金资源储量大于 600 吨。该矿床由 4 个矿体群组成, 深部矿体有 306 个。深部 I -1 号、II -1 号和 I -12 号主矿体相互平行且在水平投影图上部分叠合, 深部 I -12 号、I 号主矿体与浅部 I 号、1 号主矿体相互连接为一个矿体。与浅部矿体相比, 深部矿体形态简单、规模大、倾角缓。由浅部至深部, 矿体的金品位及金、银含量比值呈现相对降低的趋势; 金矿物的形态趋于简单, 粒度逐渐变细, 金矿物中金含量增高, 银含量减少, 金矿物成色明显增高。深、浅部矿体特征的变化与控矿构造、成矿流体、成矿空间和成矿物理化学条件的变化有关。

关键词 地质学 特大型金矿床 深部金矿 深、浅部矿体对比 莱州市焦家

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Characteristic comparison between shallow and deep-seated gold ore bodies in Jiaojia superlarge gold deposit, northwestern Shandong peninsula

SONG MingChun¹, SONG YingXin², CUI ShuXue³, JIANG HongLi³, YUAN WenHua³
and WANG HuaJiang³

(1 Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Jinan 250013, Shandong, China; 2 College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3 No. 6 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Zhaoyuan 265400, Shandong, China)

Abstract

The Jiaojia superlarge gold ore district in Laizhou City is composed of Jiaojia gold deposit, Matang gold deposit, Sizhuang gold deposit, Sizhuang deep-seated gold deposit, Matang deep-seated gold deposit and Jiaojia deep-seated gold deposit. The total reserves of gold resources are higher than 600 t. The ore district consists of 4 ore body groups. There are 306 deep-seated ore bodies. I -1, II -1 and I -12 deep-seated main ore bodies are parallel to and superimposed upon each other in horizontal projection. I -12, I deep-seated main ore bodies and I, 1 shallow main ore bodies are connected to form a large ore body. Compared with shallow ore bodies, deep-seated ore bodies are larger in size, simple in shape and low in dip angle. From shallow to deep levels, gold grade and Au/Ag ratio tend to become lower, and gold minerals tend to become simple in shape, fine in size, increasing in gold content, decreasing in silver content and obviously higher in fineness of gold. The variation of characteristics from shallow to deep-seated gold ore bodies is controlled by variation of structure, fluids, interspace and ore-forming physicochemical conditions.

* 本文得到山东省地质矿产勘查开发局科研和勘查项目资助

第一作者简介 宋明春, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿产勘查、区域地质调查和相关研究。Email: mingchuns@163.com

收稿日期 2010-10-09; 改回日期 2011-07-08。许德焕编辑。

Key words: geology, superlarge gold deposit, deep-seated gold deposit, characteristic comparison between shallow and deep-seated gold ore bodies, Jiaojia of Laizhou City

山东省莱州市焦家金矿床是山东地质局 807 队于 1967 年发现的蚀变岩型金矿床(李士先等, 2007),之后,1971~1986 年发现并评价了马塘金矿床,1980~1992 年又评价了寺庄金矿床。这三者是沿焦家 NE 向断裂带相邻分布的金矿床,由于其横向间存在 400~1 800 m 距离的无矿地段,因此,一直被作为 3 个独立的金矿床予以勘查、开采和研究。2005 年以来,山东省第六地质矿产勘查院分别在焦家、马塘、寺庄金矿床的深部(西侧)探明了新的金矿体(宋明春等, 2007, 2008, 2010),并发现其与浅部矿体断续相连,且深部主矿体相互叠合,深部与浅部的矿体实际上构成了同一个矿床。这一矿床的主要矿体沿倾向和走向仍有很大的延伸空间,所提交和控制的金资源储量已大于 600 吨,成为国内最大的特大型金矿床。

前人对焦家、马塘、寺庄等浅部金矿床进行了较多的勘查和研究(李士先等, 2007;李秀琴, 2000;刘玉琪, 1995;沈远超等, 2001;徐刚, 2002;张锐等, 2004;郑小礼等, 2000),但对深部金矿的勘查及研究则较少,对浅部金矿与深部金矿的关系尚缺乏研究。本文在近年来山东省地质矿产局深部找矿成果的基础上,通过总结深部金矿主要矿体的特征,对比深、浅部矿体的关系,研究了金矿床由浅部向深部的变化规律,提出了焦家地区金矿床为同一特大型金矿床的新认识。

1 矿床位置及地质概况

焦家特大型金矿床位于胶东半岛西北部莱州市境内,其南侧距莱州城区约 28 km。该矿床由以往提交的浅部金矿床——寺庄金矿床、马塘金矿床、焦家金矿床,以及近年探明的深部金矿床——寺庄深部金矿床、马塘深部金矿床、焦家深部金矿床组成。矿区面积近 8 km²。

该矿床分布于焦家断裂带的南段(图 1)地表多被第四系松散沉积物覆盖,覆盖层厚 0.5~40 m,一般为 3~8 m。第四系之下,大部分地区为焦家断裂上盘的新太古界变质岩系,有少量的侏罗纪玲珑花岗岩。焦家断裂纵贯全区,断裂下盘为侏罗纪玲珑花岗岩,其内见有伟晶岩、细晶岩、石英闪长玢岩、闪

长玢岩、辉绿玢岩和煌斑岩等脉岩。

焦家断裂是胶东地区金矿最密集成矿构造带之一,其平均走向 30°,倾向北西,总体沿新太古界变质岩系与侏罗纪玲珑花岗岩的接触带分布,但有的地段则穿切玲珑花岗岩和郭家岭花岗岩。其破碎蚀变带宽 80~200 m。该断裂对金矿床的产出状态和分布起着严格的控制作用(徐刚, 2002)。

2 焦家特大型金矿床主要特征

2.1 矿体群划分

根据钻探工程揭露,焦家断裂发育有连续稳定的主裂面,以灰黑色断层泥(厚 2~50 cm)为标志。断裂构造岩十分发育,按破碎蚀变程度,由主裂面向外可划为 3 个构造岩性带,即靠近主裂面的黄铁绢英岩和黄铁绢英岩化碎裂岩带,中间的黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带,外侧的黄铁绢英岩化花岗岩带(宋明春等, 2008)。各岩性带之间呈渐变过渡,局部界线较清晰。构造岩性带控制着金矿体群的分布。

根据矿床中金矿体的分布特点及其与断裂构造的关系,将矿体归并为 4 个矿体群:①在紧靠主裂面的黄铁绢英岩和黄铁绢英岩化碎裂岩带内分布的矿体为 I 号矿体群,主矿体多赋存于该矿体群内,矿体规模大、数量较少;②分布于 I 号矿体群之下黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内的矿体为 II 号矿体群,部分主矿体产于该矿体群中,矿体规模以中-小型居多,个别为大型;③产于 II 号矿体群之下黄铁绢英岩化花岗岩带内的矿体为 III 号矿体群,矿体规模小、数量多,绝大部分为小型,该矿体群常出现与主矿体走向相同、倾向相反、倾角陡立的矿体(汪劲草等, 2003;张连昌等, 2002;张锐等, 2004);④主裂面之上零星分布的矿体为 IV 号矿体群。

2.2 矿床深部主矿体特征

焦家特大型金矿床的深部共有 306 个矿体,其中:I 号矿体群有 32 个矿体,其金资源储量占深部矿资源储量的 49.22%;II 号矿体群有 51 个矿体,其金资源储量占深部矿资源储量的 34.79%;III 号矿体群有 202 个矿体,其金资源储量占深部矿资源储量的 15.81%;IV 号矿体群有 21 个矿体,其金资源储量占深部资源储量的 0.18%。深部主矿体包括 I-1

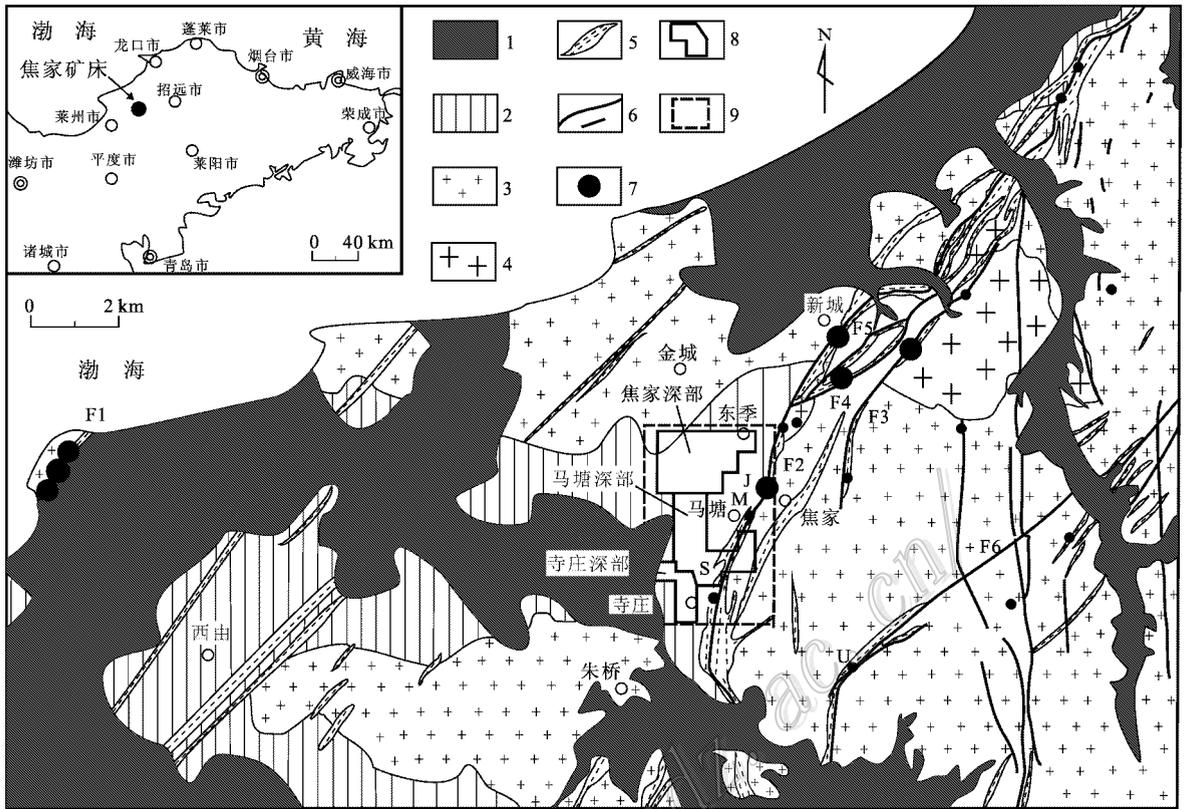


图 1 焦家特大型金矿床区域地质图

1—第四系；2—新太古界变质岩系；3—侏罗纪玲珑花岗岩；4—白垩纪郭家岭花岗岩；5—黄铁绢英岩化蚀变带；6—断裂；7—浅部金矿位置（直径大者代表大型、特大型金矿，直径小者代表中、小型金矿）；8—深部金矿勘查区范围；9—焦家特大型金矿床范围。F1—三山岛断裂；F2—焦家断裂；F3—望儿山断裂；F4—河西断裂；F5—侯家断裂；F6—灵北断裂；J—焦家金矿；M—马塘金矿；S—寺庄金矿

Fig. 1 Regional geological map of gold deposits in Jiaojia area

1—Quaternary；2—Neoproterozoic metamorphic complex；3—Jurassic Linglong granite；4—Cretaceous Guojialing granite；5—Beresitized alteration zone；6—Fault；7—Position of shallow gold deposit；8—Limits of deep-seated gold prospecting；9—Limits of Jiaojia superlarge gold deposit；F1—Sanshandao fault；F2—Jiaojia fault；F3—Wangershao fault；F4—Hexi fault；F5—Houjia fault；F6—Lingbei fault；J—Jiaojia gold ore district；M—Matang gold ore district；S—Sizhuang gold ore district

号、II-1 号、I-12 号和 I 号矿体，这些主矿体的金资源储量占深部资源储量的 81.23%。

I-1 号主矿体

该主矿体主要分布在寺庄深部勘查区(宋明春等 2007, 2008)，有少量延伸到马塘深部勘查区，是与浅部矿体不连接的盲矿体，位于 -320 ~ -926 m 标高范围内，赋存在焦家断裂主裂面之下 0 ~ 36 m 的黄铁绢英岩化碎裂岩带内，走向 17 ~ 24°，平均 20°，倾向北西，倾角 23 ~ 41°，平均 30°，其最大走向长度为 930 m，斜深 202 ~ 1 196 m，深部尚未封闭(图 2a, d)。该主矿体呈似层状，沿走向、倾向均呈舒缓波状展布。矿体单工程厚度为 1.53 ~ 23.82 m，平均 10.40 m；单工程品位 $w(\text{Au})$ 为 $1.21 \times 10^{-6} \sim 5.46 \times 10^{-6}$ ，平均 3.03×10^{-6} 。该主矿体的金资源

储量占深部资源总量的 8.66%。

II-1 号主矿体

该主矿体主要分布在马塘深部勘查区，少量延伸到寺庄深部勘查区，是与浅部矿体不连接的盲矿体，位于 -550 ~ -990 m 标高范围内，赋存于焦家断裂主裂面之下黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内，局部延入黄铁绢英岩化花岗岩内，走向 20°，倾向北西，倾角 16 ~ 41°，平均约 30°，最大走向长度 1 240 m，平均 766 m，最大倾斜长度 670 m，平均 435 m，向深部延伸出勘查区(图 2a, c)。该主矿体呈大脉状、脉状分布，单工程厚度为 1.28 ~ 76.72 m，平均 23.06 m，单工程品位 $w(\text{Au})$ 为 $1.01 \times 10^{-6} \sim 10.89 \times 10^{-6}$ ，特高品位处理后的平均品位为 3.82×10^{-6} 。其金资源储量约占深部资源总量的 32.07%。

I-12号主矿体

该主矿体分布于马塘深部勘查区,受黄铁绢英岩化碎裂岩带的控制,局部向下延伸入黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带内,最大控制垂深450 m,最低见矿工程标高为-950 m,走向18°,倾向北西,倾角25°~36°,平均29°,最大走向长度976 m,平均900 m;若包括浅部矿(马塘1号矿体)则最大倾斜长度为2360 m,平均1452 m,深部勘查区内最大倾斜长度为1040 m(图2a)。该主矿体呈似层状、大脉状,向两侧已基本尖灭,而向深部延伸出勘查区且仍具延续趋势,但品位较低;单工程厚度为1.46~15.19 m,平均4.68 m,单工程品位 $\omega(\text{Au})$ 为 1.12×10^{-6} ~

7.55×10^{-6} ,特高品位处理后的平均品位为 2.69×10^{-6} 。其金资源储量约占深部资源总量的6.30%。

I号主矿体

该主矿体分布在焦家深部勘查区(宋明春等,2010),紧靠焦家断裂主裂面分布,受黄铁绢英岩化碎裂岩和黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带的控制,局部向下延伸入黄铁绢英岩化花岗岩带内。控制垂深1120 m,最低见矿工程标高为-1080 m。矿体走向30°,倾向北西,倾角16°~30°, -850 m标高以下倾角逐渐变缓,由30°左右变至缓处的16°。矿体最大走向长度为960 m,平均750 m,最大倾斜长度为1370 m,平均870 m;若包括中、浅部矿体,则最大走向长度

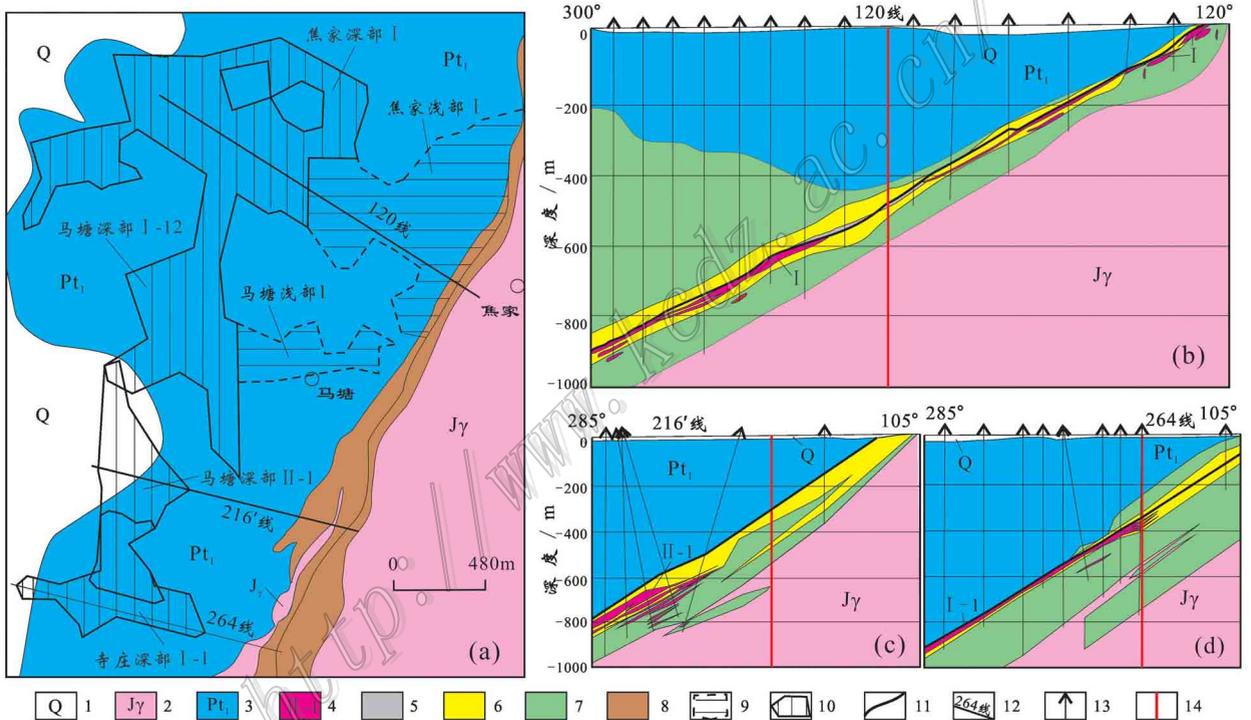


图2 焦家特大型金矿床主矿体水平投影图及勘探线剖面图

a. 主矿体水平投影图; b. 120勘探线剖面图; c. 216'勘探线剖面图; d. 264勘探线剖面图

1—第四系; 2—侏罗纪玲珑花岗岩; 3—早前寒武纪变质岩系; 4—矿体及编号; 5—低品位矿体; 6—黄铁绢英岩和黄铁绢英岩化碎裂岩带; 7—黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带和黄铁绢英岩化花岗岩带; 8—构造蚀变带; 9—浅部主矿体水平投影范围; 10—深部主矿体水平投影范围; 11—焦家断裂; 12—勘探线剖面及编号; 13—钻孔位置; 14—深、浅部勘查区分界

Fig. 2 Horizontal projection and exploration lines section of main ore bodies in the Jiaojia superlarge gold deposit

a. Horizontal projection of main ore bodies; b. No. 120 exploration line section; c. No. 216 exploration line section;

d. No. 264' exploration line section

1—Quaternary; 2—Jurassic Linglong granite; 3—Early Precambrian metamorphic complex; 4—Gold ore body and its serial number; 5—Low grade gold ore bodies; 6—Beresitized zone and beresitized cataclasite zone; 7—Beresitized granitic cataclasite zone and beresitized granite zones; 8—Alteration zone; 9—Horizontal projection range of shallow main ore bodies; 10—Horizontal projection range of deep-seated main ore bodies; 11—Jiaojia fault; 12—Exploration line and its serial numbers; 13—Location of drill hole; 14—Boundary between shallow and deep exploration areas

为 1 160 m,平均 854 m,最大倾斜长度为 2 470 m,平均 1 591 m。矿体呈似层状、大脉状,具分枝复合、膨胀狭缩和无矿天窗等特点(图 2a、b)。矿体北东侧(76 线以北)已基本尖灭,148 线以北向深部也已基本尖灭,148~184 线范围内向深部仍具延续趋势。矿体单工程厚 0.91~37.82 m,平均 10.95 m,单工程品位 $\omega(\text{Au})$ 为 $1.01 \times 10^{-6} \sim 11.97 \times 10^{-6}$,特高品位处理后的平均品位为 3.74×10^{-6} 。其金资源储量约占深部资源总量的 34.20%。

2.3 主要矿体间的关系

深部勘查区内主矿体的横向联系

寺庄、马塘、焦家深部勘查区自南向北依次连续排列,这 3 个勘查区的矿化蚀变带相互连接,主裂面之下 3 个矿体群的空间位置相互对应。寺庄深部 I-1 号主矿体与马塘深部 II-1 号主矿体、马塘深部 II-1 号主矿体与 I-12 号主矿体在水平投影图上部分叠合(图 2a),是 3 个平行分布的错列矿体。寺庄深部 I-1 号主矿体向北延伸到马塘矿区,与马塘深部 I-1 号矿体构成一个矿体;马塘深部 II-1 号主矿体,向南延伸到寺庄矿区,与寺庄深部 II-1 号矿体构成一个矿体;马塘深部 I-12 号主矿体与焦家深部 I 号主矿体以窄矿带连接,构成一个矿体(图 2、图 3)。

深部矿体与浅部矿体的纵向联系

浅部金矿体和深部金矿体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(宋明春等,2007),两者之间以低品位矿 [$\omega(\text{Au}) 1 \times 10^{-6} \sim 2.5 \times 10^{-6}$] 连接。焦家矿区深部 I 号主矿体,在 104 线至 128 线之间由低品位矿与浅部主矿体连接(图 3),104 线低品位矿位于垂深 -300~-450 m 左右,128 线低品位矿位于垂深 -440~-600 m 左右,其他勘探线低品位矿位于垂深 -400~-550 m 左右(如 120 线,图 2b),低品位

矿表现为矿石的金品位明显降低(如 112 线、120 线单孔金 $\omega(\text{Au})$ 平均分别为 $1.02 \times 10^{-6} \sim 1.52 \times 10^{-6}$ 和 $1.11 \times 10^{-6} \sim 1.82 \times 10^{-6}$),或矿体厚度明显减薄(128 线单孔矿体厚度为 1.3~2.28 m),或矿体分枝复合、膨胀狭缩变化明显(如 104 线)。深、浅部矿体连接处矿体的长度变短(宋明春等,2010)。

寺庄矿区深、浅部主矿体之间存在无矿间隔,无矿间隔的垂直距离为 100~250 m(图 3)。但 III 号矿体群中的浅部②号、⑦号矿体与深部 III-1 和 III-2 号矿体分别连接,浅部普查时只发现了矿体的矿头部分,当时认为在黄铁绢英岩化花岗岩带内赋存有较大规模矿体的可能性不大,对其未引起足够的重视,经深部勘查工作,都扩展为较大规模的矿体。

马塘矿区深部 I-12 号主矿体向上延伸,与马塘浅部 1 号矿体以低品位矿相连,在 -300 m 标高左右的深、浅部矿连接处,矿体长度明显变短(图 3)。

该矿床主要矿体之间的关系表明,深部 3 个勘查区的主矿体相互连接或叠合,深部矿体与相应的浅部矿体以低品位矿相接。以往提交的 3 个浅部金矿床和近年来查明的 3 个深部金矿床实际上构成同一个金矿床,本文称之为焦家特大型金矿床。该矿床中的马塘深部 I-12 号、马塘浅部 1 号、焦家深部 I 号、焦家浅部 I 号等 4 个矿体实际上是同一个矿体的不同部位,可称之为 I 号主矿体。因此,焦家特大型金矿床的主要矿体有 3 个:I 号、I-1 号(由寺庄深部 I-1 号与马塘深部 I-1 号矿体构成)和 II-1 号(由马塘深部 II-1 号与寺庄深部 II-1 号矿体构成)。

2.4 矿床资源量

焦家特大型金矿床已勘查的面积不足 8 km²,在已完成的勘查区的外围,主要矿体沿倾向和走向仍有很大的延伸空间,勘查单位正在继续开展勘查工

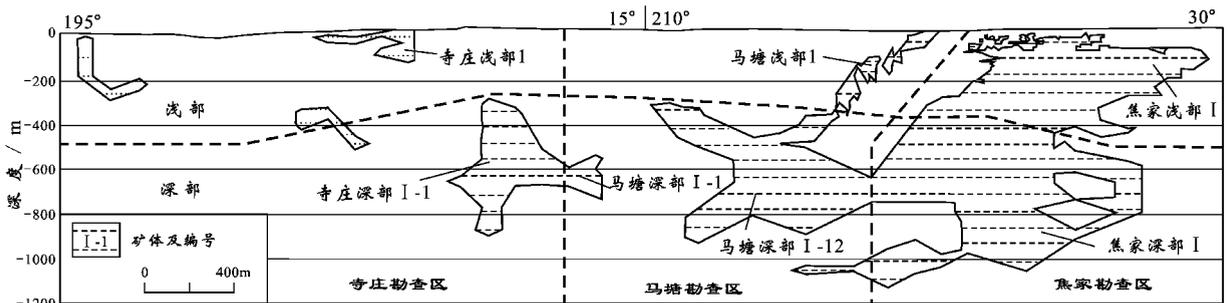


图 3 焦家特大型金矿床主矿体垂直纵投影图

Fig. 3 Vertical projection of main ore bodies of the Jiaojia superlarge gold deposit

表1 焦家特大型金矿床深、浅部主矿体及金矿物特征对比表

Table 1 Comparison of main orebodies and gold mineral between deep and shallow levels in the Jiaojia superlarge gold deposit

矿体特征	寺庄矿区		焦家矿区		马塘矿区	
	浅部2号矿体 (-500 m以浅)	深部I-1号矿体 (-320~-926 m)	浅部I号矿体 (-400 m以浅)	深部I号矿体 (-500 m~-1 100 m)	浅部1、2号矿体 (-500 m以浅)	深部I-12号矿体 (-500 m~-950 m)
矿体规模	长720 m,斜深515 m,长:斜深=1.40	长480 m,斜深1192 m,长:斜深=0.40 (未尖灭)	长1 050 m,斜深920 m,长:斜深=1.14	长960 m,斜深1 370 m,长:斜深=0.70 (未尖灭)	长350 m,240 m,斜深950 m,660 m,长:斜深=0.37、0.36	长976 m,斜深1 040 m,长:斜深=0.94
矿体形态	脉状,尖灭再现、膨胀收缩明显	似层状	脉状,有明显的分枝复合、膨胀收缩及尖灭再现	似层状、大脉状	透镜状、脉状	似层状、大脉状
金品位 α (BY) 10^{-6}	平均4.69,变化系数55%	平均3.03,变化系数83%	平均6.18,变化系数205%	平均3.74,变化系数116%	平均4.26、9.35,变化系数46.83%、73.27%	平均2.69,变化系数101%
厚度/m	平均1.50,变化系数77%	平均10.40,变化系数63%	平均5.50,变化系数103%	平均10.95,变化系数78%	平均1.81、2.8,变化系数56.6%、56.03%	平均4.68,变化系数70%
金矿物特征	〔下列数字为粒状、枝状、片状、柱状、不规则状等形态所占比例(%) ;巨粒、粗粒、中粒、细粒、微粒等粒度所占比例(%)〕					
形态	62.82、21.79、10.25、3.85、1.29	77.51、15.99、4.6、1.9、0	76.37、12.8、7、2.01、1.82	83.79、8.44、5.41、2.36、0	62.13、28.45、5.03、4.39、(2号矿体)	87.35、8.49、1.28、2.88、0
粒度	0、0、10.26、32.05、57.69	0、0、0.54、32.79、66.67	0、1.52、7.84、50.75、39.89	0、0、3.38、43.92、52.7	0、0、30.55、24.26、45.19(2号矿体)	0、0、1.28、10.1、88.62

作。目前,该矿床已提交和控制的金资源储量超过600吨,是国内最大的特大型金矿床。

3 深、浅部矿体对比

3.1 矿体特征对比

矿体形态及复杂程度

浅部矿体的形态多为较复杂的脉状、透镜状,分枝复合、膨胀收缩现象明显;深部矿体的形态相对简单,多为似层状。浅部矿体一般延长(沿走向)略大于延深(沿倾向),而深部矿体的延长小于延深(马塘矿区深、浅部矿体的延长均小于延伸)(表1)。寺庄矿区浅部矿体与深部矿体均无明显的侧伏特征,马塘、焦家矿区的矿体具有向南西方向侧伏的特点(图3)。

矿体规模

深部主矿体的规模大于浅部主矿体。深部矿体斜深均大于浅部矿体,深部矿体厚度大于浅部矿体,寺庄矿区深部主矿体平均厚度是浅部的6.93倍,焦家矿区为1.99倍,马塘矿区为1.67~2.59倍(表1)。深部矿体的总资源储量是浅部的1.78倍,深部

矿化蚀变带增厚、蚀变趋强、分带性明显,如寺庄矿区272、288、296等线浅部的分枝蚀变带至深部渐合为一条宽大的蚀变带,深部蚀变带具有明显的三分性。

矿体产状

从地表向深部,矿体产状明显变缓。由地表至-500 m标高,矿体的倾角多在30~45°,地表最高达70°;-500 m标高以深的矿体的倾角普遍小于30°,并逐渐变缓,-900~-1 000 m标高,112线为25°,128线为18°,144线为15°,152线为17°。

3.2 金、银含量变化

金品位变化

浅部矿体的金品位相对较高,向深部逐渐降低。3个矿区浅部主矿体的金平均品位均高于深部对应的矿体,除焦家矿区浅部矿体品位变化较大外,其余2个矿区浅部矿体的品位变化小于深部对应矿体的品位变化(表1)。从焦家矿区I号主矿体的品位等值线图(图4)看,有3个品位高值区,第1高值区的位置位于地表至-350 m左右,是浅部矿体的矿化富集区,第2高值区的深度为-500~-850 m左右,是深部矿体的上部矿化富集区,第3高值区的深度

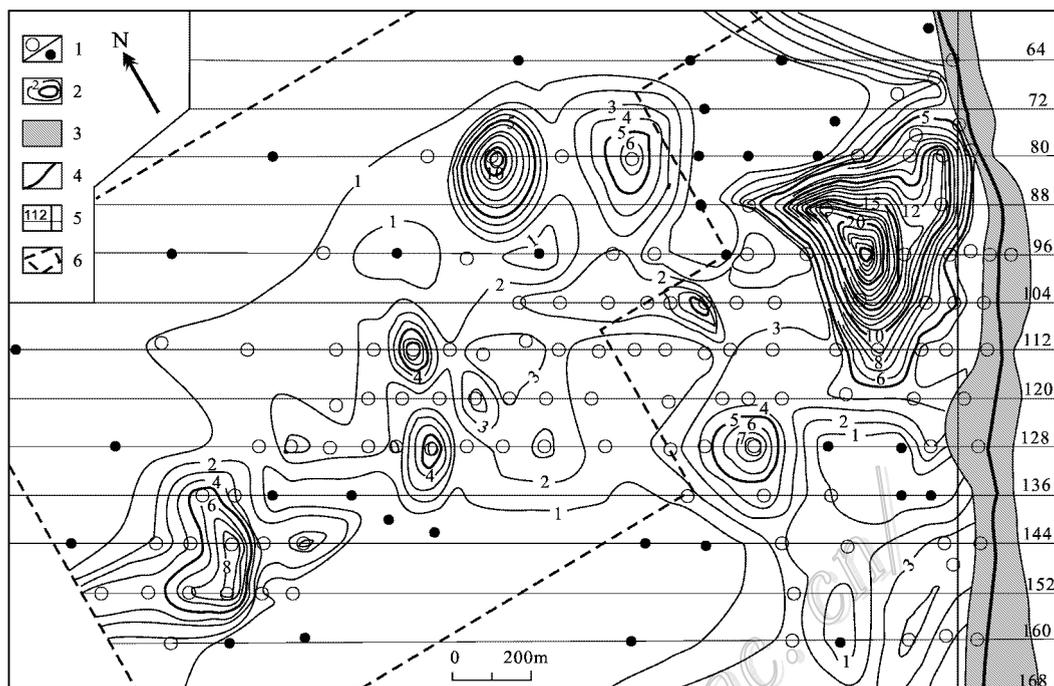


图4 焦家矿区Ⅰ号主矿体品位等值线图

1—见矿钻孔/未见矿钻孔;2—品位等值线及品位值;3—断裂蚀变带;4—焦家主断裂;5—基线、勘探线位置及编号;
6—焦家深部勘查区边界

Fig. 4 Contour diagram of gold grade of No. 1 ore body in the Jiaojia orefield

1—Location of drill hole; 2—Contour line and gold grade; 3—Alteration zone; 4—Jiaojia fault; 5—Base line, exploration line and its serial number; 6—Border line of deep prospecting in the Jiaojia gold deposit

为 $-950 \sim -1100$ m左右,是深部矿体的下部矿化富集区。由浅到深,3个高值区的品位极大值明显降低。深部矿体与浅部矿体之间由垂直距离为150 m左右的低品位矿体连接(宋明春等,2010)。

金银比值变化

寺庄矿区的深部,由Ⅰ号至Ⅲ号矿体群,金、银平均品位比为 $1:1.83$ 、 $1:1.21$ 、 $1:0.95$;深部矿体的金、银平均品位比为 $1:1.43$ 。浅部矿体的金、银含量比为 $1:1.04$ 。焦家矿区的深部,由Ⅰ号至Ⅲ号矿体群,金、银平均品位比为 $1:1.26$ 、 $1:1.04$ 、 $1:1.35$;深部矿体的金、银平均品位比为 $1:1.29$ 。浅部矿体的金、银含量比为 $1:2.02$ 。马塘矿区的深部,由Ⅰ号到Ⅲ号矿体群,金、银平均含量比为 $1:2.33$ 、 $1:1.27$ 、 $1:1.20$;深部矿体的金、银平均品位比为 $1:1.42$ 。浅部矿体的金、银含量比为 $1:2.05$ 。

可见,浅部矿体的金、银含量比值在 $1:1.04 \sim 1:2.05$ 之间,金含量高则银含量亦高,两者呈正消长关系。深部矿体在 $1:1.29 \sim 1:1.43$ 之间。除寺庄矿区外,深部矿体的金、银含量比值较浅部矿体低。除

焦家矿区Ⅲ号矿体群外,由Ⅰ号至Ⅲ号矿体群,金、银含量比值增大。总的看来,由浅部向深部,金、银比值呈相对降低的趋势;从靠近焦家断裂主裂面的矿体向远离主裂面的矿体,金、银比值呈现相对增大的趋势。

3.3 金矿物特征对比

金矿物形态和粒度

该矿床内金矿物的形态以简单的粒状为主,浅部矿体内粒状金的含量为 $62.13\% \sim 76.37\%$,深部为 $77.51\% \sim 83.79\%$ 。形态较复杂的枝叉状、脉状及网脉状金矿物,在浅部占 $33.63\% \sim 47.87\%$,在深部占 $16.21\% \sim 22.49\%$ 。由浅部至深部,金矿物的形态趋于简单。

金矿物的粒度以细粒金、微粒金为主。寺庄矿区浅部的细粒金、微粒金所占比例为 89.74% ,深部的细粒金、微粒金为 99.46% ;焦家矿区浅部的细粒金、微粒金为 90.64% ,深部为 96.62% ;马塘矿区浅部的细粒金、微粒金为 69.45% ,深部为 99.12% 。由浅部至深部,细粒金、微粒金增多。

金矿物中金、银含量

浅部矿体与深部矿体金矿物中金、银含量的变化有一定规律。以焦家矿区为例,由浅部至深部,自然金中金平均含量由 82.15% 增至 84.81%,而银含量则由 16.34% 降低至 13.87%;在银金矿中,浅部矿体的 $w(\text{Au})$ 、 $w(\text{Ag})$ 分别为 69.66%、28.43%,深部矿体分别为 77.68%、19.35%。由浅部至深部,金矿物中金含量增高,银含量减少。

从自然金、银金矿、金银矿等金矿物的分布情况来看,焦家矿床浅部矿体的金矿物以银金矿为主,只有少量金银矿、自然金,三者所占比例分别为 85%、11%、4%;深部矿体以自然金为主,有少量银金矿,未见金银矿,自然金及银金矿所占比例分别为 71%、29%。

金矿物成色

焦家矿区,浅部矿体金矿物的平均成色为 670.07,深部矿体为 826.85,由浅部至深部,金矿物平均成色明显增高。浅部矿体自然金的成色为 801.40~841.60,平均为 821.50;深部矿体自然金的成色为 801.80~903.40,平均为 847.30,由浅部至深部,自然金的成色增高。浅部矿体银金矿的成色为 532.40~784.80,平均为 659.07;深部矿体银金矿的成色为 726.60~798.50,平均为 776.83,由浅部至深部,银金矿成色的增高更为明显。浅部矿体金银矿的成色为 357.2~486.6,平均为 415.9;深部矿体中未见金银矿。浅部与深部矿体中金矿物的成色偏离系数不同,浅部为 -1.11,深部为 -0.28。

4 讨论和结论

(1) 焦家、马塘、寺庄金矿一直被前人作为 3 个独立的金矿床进行勘查、开采和研究。近年来,在三者的深部分别发现了寺庄深部金矿、马塘深部金矿和焦家深部金矿。本文对深部金矿勘查资料的研究表明,3 个矿区的深、浅部金矿实际上属同一个金矿床。其深部 I-1 号、II-1 号和 I-12 号主矿体相互平行,且在水平投影图上相重叠;深部 I-12 号、I 号主矿体与浅部 I 号、1 号主矿体相互连接为一个矿体。该矿床已提交和控制的金矿资源储量大于 600 吨,是国内最大规模的特大型金矿床。

(2) 由浅部向深部,金矿体的形态、规模和产状的变化与控矿构造特征和流体成矿特点有关。研究区内的金矿床受焦家断裂及其次级断裂的控制,焦

家断裂兼具韧性和脆性特征(徐刚等,2003),是一条韧-脆性转换断裂。其浅部,脆性特征表现明显,构造形态比较复杂,所形成的成矿空间也比较复杂;其深部,韧性变形增强,构造岩变化均匀,成矿间隙连续。成矿流体沿焦家断裂迁移时,流体-围岩相互作用、流体不混溶等多种过程致使金矿沉淀(Fan et al., 2003),因受断裂深、浅部成矿空间变化的影响,由浅部至深部,金矿体的形态趋于简单。

按照 Sibson(1977)大型断裂带的双层结构模式,自地表向下,变形从脆性逐渐过渡到韧性,断裂带逐渐变得宽大和发散。焦家断裂符合这一模式,由浅部向深部,变形影响范围增大,断裂构造带的宽度变大,成矿流体沿构造带扩散的范围相应变大,因此,矿体规模增大。

焦家断裂是一条铲式断裂(宋明春等,2010),浅部倾角陡,深部倾角变缓。成矿流体迁移、沉淀的状态必然受断裂产状变化的影响,形成了浅部矿体倾角陡而深部矿体倾角缓的规律。

(3) 浅部矿体与深部矿体间金品位和金矿物形态等的变化,取决于成矿空间和成矿物理化学条件的变化。由地壳较深部向较浅部,压力逐渐降低,成矿流体沿断裂扩散时,以类似暖气管道供暖的方式,从压力较高的深部向压力较低的浅部迁移,并优先在浅部的有利空间聚集成矿,因此,浅部的金品位高。浅部脆性断裂发育,岩石结构较松散,有较大的适合于金矿物生长的空间,可以形成形态较复杂、粒度较粗的金矿物。

金矿物的成色与金矿床的形成深度密切相关。矿床形成深度越大,成矿的物理化学参数变化越慢,金的成色就越高。前人研究表明,胶东金矿成色较低,以 550~750 居多,反映了金矿成矿以中-浅成为主(孟繁聪等,1998)。焦家矿区的金矿物成色介于 357.2~903.40 之间,同样显示了以中-浅成(< 3 km)金为主的特点。如果按照焦家矿区浅部矿体金矿物的平均成色为 670.07、深部矿体为 826.85 来推测,浅部矿体的成矿深度为浅成(< 1.5 km),深部矿体的成矿深度为中成(1.5~3 km)。由于金的成色是一个复杂的问题(杨敏之等,1996),不能简单地将成色与深度相对应,但深部矿与浅部矿成色的差异指示出其成矿深度是有差异的。

浅部矿体的金矿物成色偏离系数较大,指示了金矿物的成色差异较大,反映出存在多成矿阶段叠加的可能性;深部矿体成色差异较小(金矿物成色偏

离系数较小),说明金矿物生成时间较接近,成矿阶段较单一。

志 谢 本文是山东省地质矿产勘查开发局“胶西北矿集区深部大型-超大型金矿找矿和成矿模式研究”项目的部分成果,是在山东省第六地质矿产勘查院提交的《山东省莱州市寺庄金矿床深部详查报告》、《山东省莱州市焦家金矿床深部详查报告》、《山东省莱州市朱郭李家矿区金矿详查报告》等成果的基础上完成的,感谢这些项目、成果的参与者对深部找矿和本文的贡献,尤其是深部金矿详查项目的负责人杨之利、周明岭、高书剑等同志为本文提供了深部金矿的部分勘查资料。感谢陈毓川院士、裴荣富院士、汤中立院士等在本文项目成果评审时向作者提出的启发性意见,感谢2位匿名审稿专家提出的宝贵意见。

References

Fan H R, Zhai M G, Xie Y H and Yang J H. 2003. Ore-forming fluids associated with granite-hosted gold mineralization at the Sanshandao deposit, Jiaodong gold province, China [J]. *Miner. Dep.*, 38: 739-750.

Li S X, Liu C C, An Y H, Wang W C, Huang T L, Yang C H, et al. 2007. Geology of gold deposits in Jiaodong, Shandong Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 111-122 (in Chinese).

Li X Q. 2000. Geological features and host regularity of III vein group of Jiaojia deposit in Shandong Province [J]. *Journal of Xi'an Engineering University* 22(1): 38-41 (in Chinese with English abstract).

Liu Y Q. 1995. Research and application of metallogenetic regularity in Matang gold mine, Laizhou County, Shandong Province [J]. *Gold*, 16(1): 13-15 (in Chinese).

Meng F C, Sun D S and Cun G. 1998. The fineness of native gold and its indicative significance in Jiaodong gold mines [J]. *Gold Geology*, 4(4): 30-32 (in Chinese with English abstract).

Shen Y C, Li H M, Liu T B, Zhang L C and Li G M. 2001. Types of gold mineralization of Jiaojia type 's gold deposits in Jiaodong district, Shandong Province, and their importance of studying [J]. *Geology and Prospecting*, 37(1): 48-51 (in Chinese with English abstract).

Sibson R H. 1977. Fault rocks and fault mechanism [J]. *J. Geol. Soc. of London*, 133(3): 191-198.

Song M C, Meng Q B, Yang C H, Jiao X M, Cui S X, Yang Z L and Jiang H L. 2007. The discovery of oversize deep gold deposit in the Sizhuang field, Jiaodong and its prospecting significance [J]. *Geology*

in China, 34(Supp.) 220-224 (in Chinese).

- Song M C, Cui S X, Yang Z L, Jiang H L, Yang C H and Jiao X M. 2008. Great progress and far-reaching of significance deep exploration in the Jiaojia metallogenic belt, Shandong Province [J]. *Geology and Prospecting* 44(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Song M C, Cui S X, Zhou M L, Jiang H L, Yuan W H, Wei X F and Liu G X. 2010. The deep oversize gold deposit in the Jiaojia field, Shandong Province and its enlightenment for the Jiaojia gold type [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(9): 1349-1358 (in Chinese with English abstract).
- Wang J C, Xia B and Tang J R. 2003. Recognition on some key geological problems of Linglong-Jiaojia ore concentrated district in Shandong Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia* 27(2): 147-151 (in Chinese with English abstract).
- Xu G. 2002. Relation between faulting and mineralizing characteristics in Jiaojia gold orefield, eastern Shandong Province, China [J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 731-734 (in Chinese with English abstract).
- Xu G and Zheng D X. 2003. Ductile deformation characters in the Jiaojia fault zone in the Jiaodong area, Shandong Province [J]. *Journal of Geomechanics* 9(1): 70-77 (in Chinese with English abstract).
- Yang M Z and Liu G X. 1996. Geology and Geochemistry of greenstone belt gold in Jiaodong Shandong Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 228p (in Chinese).
- Zhang L C, Zeng Q D, Sheng Y C and Liu T B. 2002. Geological feature and structure analysis on Hongbu gold deposit, northwestern Jiaodong [J]. *Geology and Prospecting*, 38(3): 18-22 (in Chinese with English abstract).
- Zhang R and Zeng Q D. 2004. Metallogenic pattern of the No. 3 mineral vein in Jiaojia gold deposit [J]. *Gold Science and Technology*, 12(2): 16-21 (in Chinese with English abstract).
- Zheng X L, Zheng G Y, Gao H F, Xu D X, Wang Y P, Pan Z D and Li R Q. 2000. Study on occurrence regularity of orebody and its results in Jiaojia gold deposit [J]. *Journal of Gold*, 2(4): 279-282 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李士先, 刘长春, 安郁宏, 王为聪, 黄太岭, 杨承海, 等. 2007. 胶东金矿地质 [M]. 北京: 地质出版社. 111-222.
- 李秀琴. 2000. 山东焦家金矿床 III 号矿脉群地质特征及其赋存规律 [J]. *西安工程学院学报*, 22(1): 38-41.
- 刘玉琪. 1995. 山东省莱州市马塘金矿区控矿规律的研究与应用 [J]. *黄金*, 16(1): 13-15.
- 孟繁聪, 孙岱生, 刁 珪. 1998. 胶东金矿金色及其指示意义 [J]. *黄金地质*, 4(4): 30-32.

- 沈远超,李厚民,刘铁兵,张连昌,李光明. 2001. 胶西北焦家式金矿化类型及其研究意义[J]. 地质与勘探, 37(1):48-51.
- 宋明春,孟庆宝,杨承海,焦秀美,崔书学,杨之利,姜洪利. 2007. 胶东寺庄矿区深部特大型金矿的发现及其找矿意义[J]. 中国地质, 34(增刊):220-224.
- 宋明春,崔书学,杨之利,姜洪利,杨承海,焦秀美. 2008. 山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义[J]. 地质与勘探, 44(1):1-8.
- 宋明春,崔书学,周明岭,姜洪利,袁文花,魏绪峰,吕古贤. 2010. 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[J]. 地质学报, 84(9):1349-1358.
- 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[J]. 大地构造与成矿学, 27(2):147-151.
- 徐刚. 2002. 焦家金矿田断裂构造与矿化特征的关系研究[J]. 矿床地质, 21(增刊):731-734.
- 徐刚,郑达兴. 2003. 胶东焦家断裂带韧性变形特征[J]. 地质力学学报, 9(1):70-77.
- 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. 228页.
- 张连昌,曾庆栋,沈远超,刘铁兵. 2002. 胶西北红布金矿地质特征及构造解析[J]. 地质与勘探, 38(3):18-22.
- 张锐,曾庆栋. 2004. 焦家金矿3#脉成矿规律探讨[J]. 黄金科学技术, 12(2):16-21.
- 郑小礼,郑广玉,高海峰,许道学,王玉平,潘志东,李荣强. 2000. 焦家金矿床矿体赋存规律研究及其预测效果[J]. 黄金学报, 22(4):279-282.

<http://www.kcdz.ac.cn/>