

地质·矿床

山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义

宋明春^{1,2}, 崔书学³, 杨之利³, 姜洪利³, 杨承海², 焦秀美²

(1 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2 山东省地质矿产勘查开发局, 济南 250013;

3 山东省第六地质矿产勘查院, 招远 265400)

[摘 要] 通过 5 年时间对山东焦家金矿带深部的地质找矿工作, 发现了位于莱州寺庄矿区深部的特大型破碎带蚀变岩型金矿。该矿床与产于焦家断裂第一矿化富集带中的寺庄矿区浅部金矿床之间有 100~250m 垂深的无矿间隔, 构成第二矿化富集带。认为胶西北地区 3 条主要金矿控矿断裂——三岔断裂、焦家断裂、招平断裂具有明显的相似性, 形成上陡下缓的铲状断层, 构成了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。建立了焦家式金矿新的成矿模式: 在伸展构造主断面附近的岩石受到强烈的伸展剪切应力, 产生倾向与伸展滑动方向一致的一系列伸展断层, 构造岩为变形均匀的碎粒岩和糜棱岩, 形成浸染状蚀变岩型矿石; 主断面之下, 由伸展引起的剪切应力, 产生了具共轭剪节理性质的网状裂隙带, 形成网脉状矿石; 远离主断面, 岩体上拱造成的引张作用产生近直立的裂隙带, 形成脉状矿石。指出焦家金矿带深部成矿远景区在该断裂平面位置的西侧, 而非其东侧的玲珑花岗岩分布区。

[关键词] 焦家金矿带 深部找矿 寺庄矿区 伸展构造

[中图分类号] P618.51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2008)01-0001-08

山东焦家金矿是山东省第六地质队 (以下简称六队) 发现并勘查的, 1965 年六队提出“焦家式”破碎带蚀变岩型金矿概念及成矿模式, 1977 年地质部第二次全国金矿会议上正式确认并向全国推广应用。“焦家式”金矿确立以后, 大大促进了全国, 尤其是胶东地区的金矿找矿工作。初步统计, 目前胶东地区共探明了“焦家式”金矿床 152 处, 其中特大型金矿床 18 处、大型金矿床 7 处、中型金矿床 34 处, 探明金资源储量 900 余吨。焦家金成矿带是胶东地区最重要的成矿带之一, 在该带中已探明新城、焦家、河西 3 个特大型金矿床及河东、东季、上庄、望儿山、马塘、寺庄等一批大、中型金矿床 (图 1)。随着地质勘查程度的不断加大, 该区平均勘查深度已接近 -500m, 地表矿、浅部矿越来越少, 金矿找矿难度越来越大, “攻深找盲”成为该区找矿的重点方向。自上世纪末, 人们开始对该成矿带深部开展了探索性找矿工作, 如: 山东黄金集团有限公司在焦家金矿深部打了 4 个钻孔, 在 -620~-710m 标高之间导致对深部找矿方向产生错误判断。通过深入分

发现了金矿体^[1]。

2006 年, 六队在焦家金矿南约 2.5km 的莱州市朱桥镇寺庄矿区深部, 提交了一个特大型金矿 (地理坐标位置: 东经 120°06′03″, 北纬 37°22′43″), 实现了焦家金矿带深部找矿的重大突破, 揭示了该成矿带深部巨大的金矿资源潜力。这个金矿是在焦家金矿带深部第二矿化富集带上发现的第一个特大型金矿。焦家金矿带深部金矿找矿的突破, 不仅对中国东部传统成矿带攻深找盲, 解决危机矿山资源瓶颈具有重要的示范意义, 而且, 为深化和发展“焦家式”找矿理论带来新的启示, 其意义深远。

笔者等多年来一直在胶东地区从事金矿勘查工作, 自 2002 年参与了对焦家金矿带深部金矿找矿工作。通过 5 年的工作, 尤其是通过对寺庄矿区深部金矿勘查项目发现的金矿床与浅部金矿床的对比研究, 及对胶西北 3 条主要金矿成矿带特征和成矿规律的研究, 发现传统的焦家式金矿成矿模式及前人关于焦家式金矿成矿构造体制的部分认识存在误区, 析, 本文建立了新的焦家式金矿成矿模式, 指出了新

[收稿日期] 2006-12-18; **[修订日期]** 2007-03-09。

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (编号: 40672319) 和山东省地质矿产勘查开发局科技攻关项目资助。

[第一作者简介] 宋明春 (1963 年—), 男, 2003 年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 在读博士生, 研究员, 现主要从事地质矿产技术管理及研究工作。

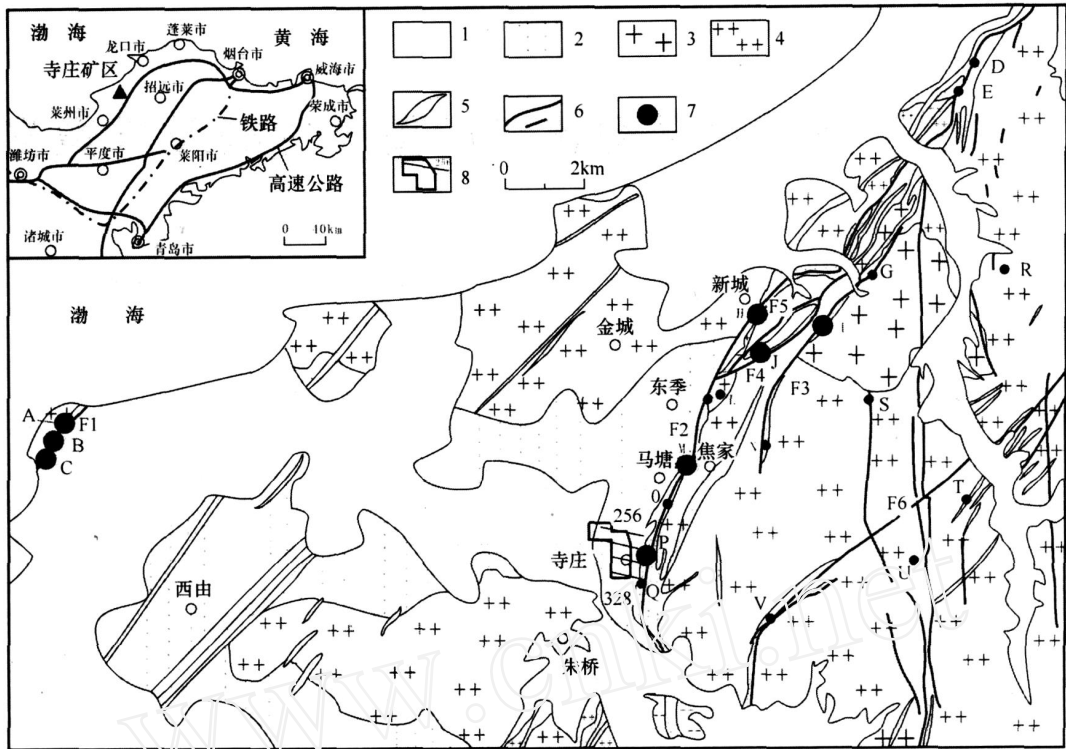


图 1 焦家金矿成矿带地质图

1—第四系;2—早前寒武纪变质岩系;3—郭家岭花岗岩;4—玲珑花岗岩;5—黄铁绢英岩化蚀变带;6—断裂、裂隙;7—金矿床位置(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—寺庄矿区深部金矿详查范围及部分勘探线位置与编号;F1—三山岛—仓上断裂;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;A—三山岛金矿;B—新立金矿;C—仓上金矿;D—大涝洼金矿;E—小涝洼金矿;G—上庄金矿;H—新城金矿;I—河东金矿;J—河西金矿;K—东季金矿;L—龙埠金矿;M—焦家金矿;N—望儿山金矿;O—马塘金矿;P—寺庄金矿;Q—后赵金矿;R—洼孙家金矿;S—前孙家金矿;T—灵山沟金矿;U—七里山金矿;V—黄埠岭金矿

的金矿找矿方向。这一模式的建立,对于指导胶东地区今后的金矿找矿工作,乃至重新审视国内焦家式金矿产区的资源前景具有重要的意义。

1 寺庄矿区深部金矿勘查的重大突破

1.1 地质勘查工作概况

寺庄地区的金矿找矿工作始于 20 世纪 60 年代末:1968 年,六队发现了焦家断裂带寺庄金矿点;1980—1992 年,六队开展了寺庄金矿(浅部)普查工作,施工钻孔最大勘查深度为 500m,探求 D + E 级金矿储量 9597kg;2002 年,六队开展了焦家成矿带深部金矿普查工作,施工了两个孔深分别为 900m、800m 的钻孔,在 - 600m ~ - 700m 标高范围内,圈定了 2 个单样金品位分别为 1.46×10^{-6} 、 1.29×10^{-6} ~ 1.89×10^{-6} 的金矿化体;2003—2004 年六院开展了寺庄矿区深部金矿普查工作,施工了 3 个钻孔,在 - 500m 以下圈出矿(化)体 12 个,初步概算资源量 27378kg,金平均品位 5.68×10^{-6} ,平均厚度

3.78m;2005—2006 年六队开展了寺庄矿区深部金矿详查工作,共施工了 47 个钻孔,完成钻探工作量 36963.93m,单孔孔深为 625.16 ~ 1015.26m,超过 900m 深的钻孔有 10 个,创造了胶东地区金矿找矿一个矿区一次性施工深孔数量之最。自 2002 年以来,通过近 5 年的深部找矿工作,探求了焦家金矿带平均勘探深度最大的特大型金矿床——寺庄矿区深部金矿。

1.2 矿床地质

寺庄矿区深部金矿床位于胶西北地区焦家金矿成矿带南段,寺庄金矿(浅部)西侧(图 1)。产于玲珑花岗岩与围岩(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,与焦家主断裂近平行的一组缓倾裂隙及与主断裂大角度相交至反倾的一组陡倾裂隙为两组主要控矿裂隙。

自以断层泥为标志的焦家断裂主断面以下,构造蚀变带可分为黄铁绢英岩带(厚 1.20 ~ 93.00m)、黄铁

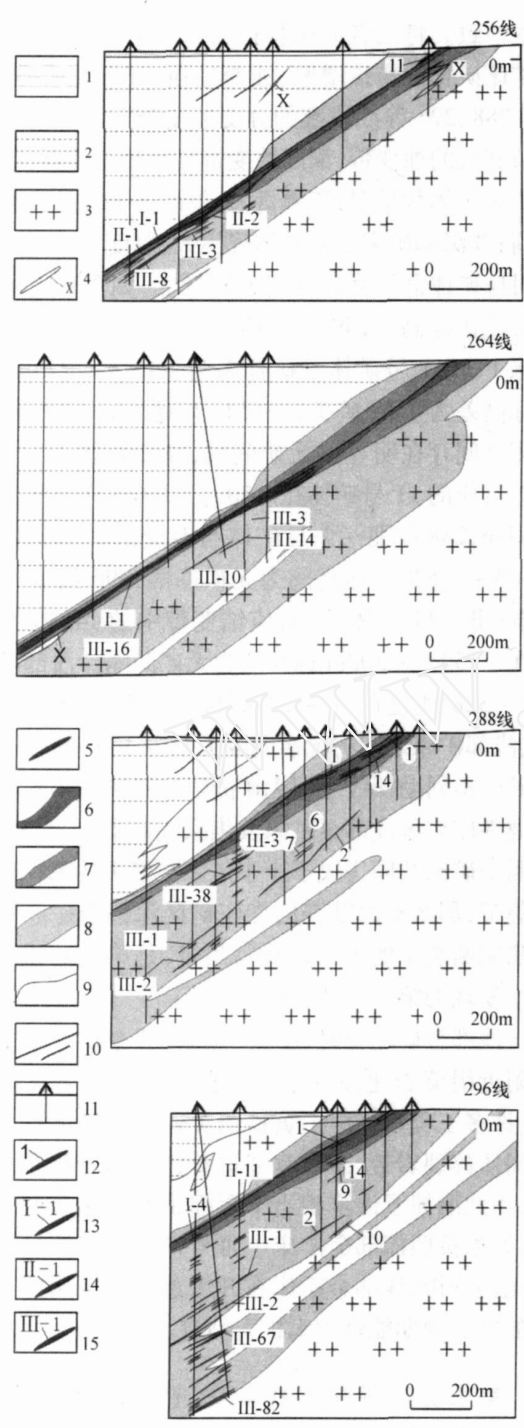


图 2 寺庄矿区主要勘探线剖面图

1—第四系；2—早前寒武纪变质岩；3—玲珑花岗岩；4—煌斑岩脉；5—金矿体；6—黄铁绢英岩带；7—黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带；8—黄铁绢英岩化花岗岩带；9—地质界线；10—断裂、裂隙；11—钻孔位置；12—浅部金矿体编号；13—深部 I 号矿体群金矿体编号；14—深部 II 号矿体群金矿体编号；15—深部 III 号矿体群金矿体编号

绢英岩化花岗质碎裂岩带 (厚 2.00~63.00m)、黄铁绢英岩化花岗岩带 (厚 96.00~496.00m) 3 个控矿岩性带, 3 者分别控制了 I II III 号 3 个矿体群 (图 2)。

矿床共有 188 个矿体, 其中 I 号矿体群 11 个矿体、II 号矿体群 20 个矿体, I - 1、III - 1、III - 2 矿体为主矿体, 次为 III - 3、III - 40、III - 66 矿体。矿体产状大多与主裂面一致, 呈似层状、脉状或透镜状产出, 倾向 252°~300°, 倾角 21°~45°, 控制长 60~905m, 控制斜深 50~1193m。矿体平均厚度 0.84~10.40m, 平均金品位 1.01×10^{-6} ~ 11.92×10^{-6} 。6 个主要矿体厚度变化系数 38%~112%, 为厚度变化较稳定至稳定型矿体; 品位变化系数 96%~148%, 为品位变化较均匀至均匀型矿体。I - 1 矿体控制长 480m, 控制最大斜深 1192m, 平均厚度 10.40m, 金平均品位 3.03×10^{-6} ; III - 1 矿体控制长 904m, 控制最大斜深 605m, 平均厚度 3.72m, 金平均品位 3.33×10^{-6} ; III - 2 矿体控制长 905m, 控制最大斜深 672m, 平均厚度 3.46m, 金平均品位 7.10×10^{-6} 。赋矿标高 - 159~- 1003m, 6 个主要矿体赋存于 - 235~- 926m 标高之间。

资源量估算结果, 探获控制的及推断的内蕴经济资源量 [(332) + (333)] 金金属量 51.83t, 矿床平均品位 3.94×10^{-6} ; 6 个主要矿体合计金金属量占总资源量的 72.91%。另外探获了 (333) 类伴生银资源量及全硫资源量。I、II、III 矿体群金资源量各占矿床总资源量的 40.14%、1.35%、58.51%。

矿石矿物成分主要为银金矿、黄铁矿, 其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等, 脉石矿物主要有石英、绢云母、长石等。矿石主要有用组分为金, 伴生有益组分有银、硫等。矿石结构为自形 - 半自形粒状结构、碎裂状结构, 构造为块状构造、浸染状构造、(网)脉状构造。矿石自然类型为原生矿石, 有浸染状黄铁绢英岩型矿石、细脉 - 浸染状黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩型矿石、细脉 - 网脉状黄铁绢英岩化花岗岩型矿石 3 种类型; 矿石工业类型为破碎带蚀变岩型 (焦家式) 低硫矿石。

1.3 矿床远景评价

由于受探矿权范围所限, 本次勘查的主要矿体深部没有工程圈闭。如 I - 1 矿体在最深的 264ZK952 孔仍见到厚 19.15m, 金品位 2.62×10^{-6} 的厚而稳定的矿体, 工程控制标高 - 875m, 矿体向深部延伸趋势明显 (图 2、图 3)。III 号矿体群埋藏较深 (最深 - 1003m 标高), 资源总量大, 矿体数量多, 单矿体规模较小, 工程难以完全控制, 已有见矿工程控制的数个矿体品位大于 5.00×10^{-6} , 厚度大于 6.00m, 通过后续工作, 有望大大扩大资源量。由此分析, 寺庄矿区深部, 本次详查范围附近仍具有良

好的找矿前景和巨大的资源潜力。本次勘查工作圈定的Ⅱ号矿体群,矿体产状大部分与主构造带及主矿体产状一致,而邻区焦家金矿在开采过程中发现的3号矿脉群由陡倾矿体和反倾矿体组成^[2~4],这种差异,是指示本区Ⅱ号矿体群之下还存在类似焦家金矿床3号矿脉群的陡倾矿体,还是反映本次勘查对Ⅱ号矿体群矿体的圈连不完全合理?是一个有待深入分析研究的问题。

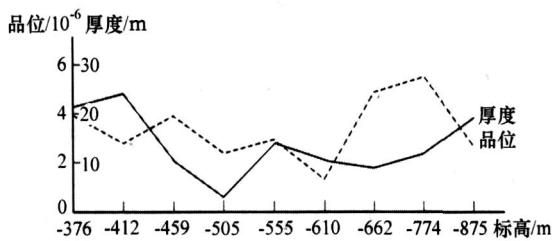


图3 I-1号矿体264线沿倾向品位、厚度变化曲线图

2 寺庄矿区深、浅部金矿矿床特征对比

2.1 寺庄矿区浅部金矿床地质特征简述

浅部金矿床矿化蚀变带主要由黄铁绢英岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩和黄铁绢英岩化花岗岩组成。共圈定了20个金矿体,其中2号矿体规模最大,为矿床内主矿体,1、3、4、7、14、20号矿体规模较少,其它仅为单孔或双孔所见的零星矿体。矿体产状与主裂面平行,呈简单的脉状产出,倾向 $255^{\circ}\sim 300^{\circ}$,倾角 $22^{\circ}\sim 46^{\circ}$,控制长 $112\sim 720\text{m}$,控制斜深 $80\sim 727\text{m}$,平均厚度 $0.65\sim 3.37\text{m}$,矿体平均金品位 $1.57\times 10^{-6}\sim 8.11\times 10^{-6}$ 。2号主矿体控制长 720m ,斜深 515m ,平均厚度 1.50m ,金平均品位 4.69×10^{-6} ,矿体厚度变化系数77%、品位变化系数55%,属厚度较稳定、有用组分分布较均匀的矿体;1号矿体控制长 542m ,斜深 335m ,平均厚度 2.32m ,金平均品位 2.68×10^{-6} ;3号矿体控制长 485m ,斜深 592m ,平均厚度 2.22m ,金平均品位 3.04×10^{-6} 。赋矿标高:地表 -504m 。

资源量估算结果,探获D+E级金金属量表内矿7052kg,表外矿2545kg;矿床平均品位:表内 4.84×10^{-6} 、表外 2.20×10^{-6} ;其中2号主矿体金金属量占总资源量的45.41%。另外探获了D+E级伴生银资源量及全硫资源量。矿石特征与深部金矿床矿石相似。

2.2 深、浅部金矿主要特征对比

寺庄矿区深、浅部金矿床均受焦家断裂控制,主矿体产于其下盘的构造蚀变带中,产状相同,矿石特征

基本一致。将二者矿床特征对比(图2)发现:①深部矿床矿化蚀变带增厚、蚀变趋强、分带性明显,如272、288、296等线浅部的分支蚀变带至深部渐合为一条宽大的蚀变带,深部蚀变带具明显三分性;②深部矿床矿体数量多,资源量大,单矿体平均品位最大值高;③深部矿床主要矿体规模大,厚度大,品位高;④对应矿体群间赋矿标高差别较大,如深部I号矿体群赋矿标高 $-240\sim -926\text{m}$,与之相对应的浅部矿床1、3、11号矿体赋矿标高为 $+15\sim -275\text{m}$,赋矿标高差为255(矿头) ~ 651 (矿尾)m;⑤深、浅部矿床之间存在明显的无矿间隔,如256线I-1矿体与对应的11号矿体在 $-50\sim -300\text{m}$ 标高间为无矿间隔,288线Ⅲ-2号矿体与对应的2号矿体在 $-500\sim -620\text{m}$ 标高间为无矿间隔,296线Ⅱ号矿体群(Ⅱ-11矿体)与对应蚀变带中的14、15号矿体在 $-150\sim -300\text{m}$ 标高间为无矿间隔。浅部矿床304 ~ 328 线之间在 -250m 标高以浅无矿。可见深、浅部矿床之间的无矿间隔为垂深 $100\sim 250\text{m}$,不同矿体不同勘探线之间无矿间隔的距离不一致。如果说寺庄矿区浅部金矿床及焦家成矿带上的其它已探明金矿床共同构成了产于焦家断裂中的第一矿化富集带,那么本次勘查的寺庄矿区深部金矿床则构成焦家断裂中的第二矿化富集带,是第二矿化富集带中发现的第一个特大型金矿床。

浅部金矿勘查时,按照“焦家式”金矿产于主断裂附近绢英岩化蚀变带中的传统认识部署钻探工作,许多工程只打穿了黄铁绢英岩和黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带,而没有穿透黄铁绢英岩化花岗岩带,因此漏掉了许多相当于深部Ⅱ号矿体群的金矿体,如果按照深部金矿床中Ⅱ号矿体群资源量所占的比例分析,浅部金矿床在开采过程中采用边采边探的办法预期能够大大扩大储量。

3 焦家金矿带深部找矿突破对重新认识“焦家式”金矿的启示

焦家金矿带深部找矿的突破,揭示了许多与传统认识的“焦家式”金矿不同的特点,迫使我们重新思考“焦家式”金矿的有关问题。

3.1 焦家断裂是一条大型伸展构造带

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 $50\sim 500\text{m}$,总体走向 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$,倾向北西,倾角 $25^{\circ}\sim 60^{\circ}$,局部大于 70° 。寺庄段,断裂北段走向 15° ,南段渐变为 325° ,倾向北西或南西,倾角 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$;焦家段(马塘—新城段),总

体走向 40°，平面上呈曲率较大的“S”型，走向变化范围为 5°~40°，倾向北西，倾角 25°~60°，东季局部地段倾角可达 80°。本次工程控制断裂的最大延伸为 1140m。断裂在剖面上呈明显的舒缓波状形态。系统的勘查工程揭示该断裂倾角具有上陡（60°~70°）下缓（25°~30°），北陡（60°~80°）南缓（25°~30°）的特点，构成了一条大型铲状断层（图 4）。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^[3,5~7]，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^[8]。

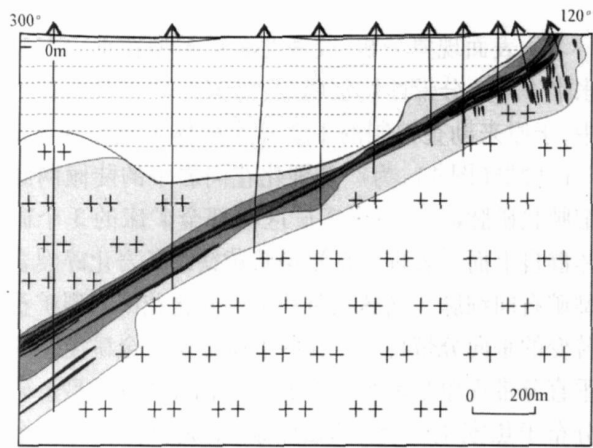


图 4 焦家金矿床 112 号勘探线剖面图
(图例同图 2)

前人对胶西北成矿构造体制的主要认识有：挤压成矿构造体制、伸展成矿构造体制、走滑成矿构造体制、伸展-走滑复合型构造体制^[3]和剪切成矿构造体制^[9]。虽然前人对该区金矿成矿构造体制认识不同，但普遍认为，该区金矿形成于统一的构造应力背景下。经过多年的地质勘查工作，我们发现，胶西北地区 3 条主要金矿控矿断裂——三山岛—仓上断裂、焦家断裂、招（远）—平（度）断裂在断裂展布特点、倾角、断裂组合特点、断裂附近的构造岩、蚀变、矿化特点、断裂活动期次、性质等方面具有明显的相似性，主要表现为：①断裂展布特点及倾角相似，三者近平行沿玲珑花岗岩体与早前寒武纪地质体的接触带展布，总体倾角较缓，具有上陡下缓的铲状断层特点；②断裂组合特点相同，主断裂旁侧次级断裂发育，平面上构成多级“入”字形或树枝状组合

形式，剖面上构成阶梯状组合形式，3 条主断裂则构成地堑（三仓断裂与焦家断裂之间）、地垒（焦家断裂与招平断裂之间）式正断层组合；③断裂附近的构造岩、蚀变、矿化特点一致，主断面之下依次出现断层泥、碎裂岩（糜棱岩）、碎裂岩化花岗岩等构造岩，黄铁绢英岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩、红化（黄铁绢英岩化）花岗岩等蚀变岩及浸染状金矿化、网脉状金矿化、脉状金矿化等矿化类型；④断裂活动期次、性质、时间相吻合，脆性断裂活动之前经历了韧性变形作用，脆性断裂则经历了主成矿期的张扭性活动及后期的压扭性活动，断层主活动期时间与矿化蚀变时间一致^[5]。鉴于上述特点（尤其是上述①、②、④条），笔者同意前人认为胶西北成矿构造体制为伸展成矿构造体制的认识，并认为胶西北 3 条主要成矿断裂组成了一条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。按焦家断裂与三仓断裂向深部渐趋变缓的趋势分析，二者在深部将会连为一体（图 5），焦家断裂与招平断裂则应在玲珑花岗岩体的顶部连为一体，但现已被剥蚀，仅保留少量下盘张裂隙带。如果按照断裂倾角 30°估算，焦家断裂与三仓断裂连接的深度大致在地表以下 4000m 左右。伸展构造带的上盘主体为中高级变质的早前寒武纪变质岩，下盘为未变质的玲珑花岗岩，主断面叠加在早期韧性剪切带之上，总体构造具有纯剪式伸展构造的特点，类似剥离断层。

焦家大型伸展构造带的形成及演化与胶东地区大规模岩浆侵入有关。首先，玲珑花岗岩的强力侵位过程，对围岩产生顶托作用，在花岗岩尚未完全固结的半塑性状态下，岩体边缘的花岗岩受挤压变形，形成早期韧性变形带。其次，在玲珑岩体定位后强烈抬升期间，燕山晚期花岗岩上拱造成玲珑花岗岩与其上覆早前寒武纪变质岩之间的各向异性界面不稳，沿之发生滑脱作用，产生伸展构造。由于剖面上深部岩浆的上拱作用和平面上区域性右行剪切作用，在玲珑花岗岩中形成各种右行张剪破裂^[6]。最后，来自幔源的基性侵入岩沿伸展构造产生的张裂隙侵位。焦家大型伸展构造的确立有利于更好的解释该区金矿形成的背景：被通达地表的断裂系统强烈切割的伸展构造上盘，岩石冷，构成一个氧化环境下的水溶液循环系统；由断层泥和部分糜棱岩组成了致密遮挡层为顶盖的伸展构造下盘，岩石热，构成一个还原环境的水溶液循环系统；伸展作用和深部上隆岩浆为热液上升提供了良好条件，从而在伸展构造上、下盘的接触部位，即两个水溶液循环系统的

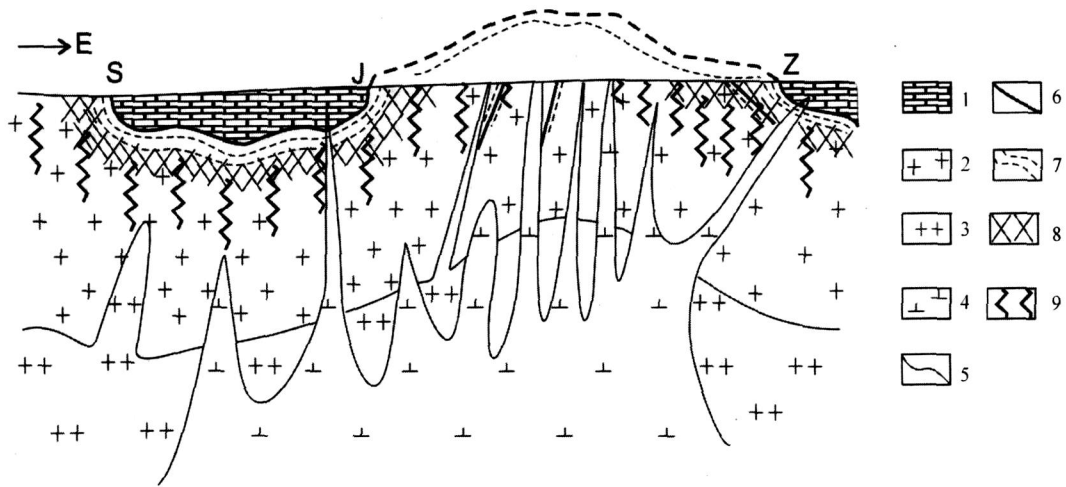


图5 胶西北地区金矿成矿构造系统及成矿模式示意图

1—早前寒武纪变质岩系;2—玲珑花岗岩;3—燕山晚期花岗岩;4—基性侵入岩;5—地质界限;6—断裂;7—伸展断层带(浸染状蚀变岩型矿化带);8—网状裂隙带(网状矿化蚀变带);9—张裂隙带(脉状矿化蚀变带);S—三仓断裂;J—焦家断裂;Z—招平断裂

汇合处,形成了一个含矿热液沉淀聚集的有利场所^[10]。

金矿的成矿时代晚于玲珑花岗岩和郭家岭花岗岩的形成时代,而与伟德山超单元(花岗岩类)、基性侵入岩(煌斑岩)等胶东燕山晚期大规模岩浆活动的时代接近^[11~13],多期岩浆活动为金矿的形成提供了热源。

3.2 焦家式与玲珑式金矿形成于同一构造背景下不同构造位置的产物

六队在提出焦家式破碎带蚀变岩型金矿后,又提出了玲珑式含金石英脉型金矿类型,后来相继提出了河西式密集节理带型金矿、灵山式似层状细网脉型金矿、上庄式囊状纤维细网脉型金矿^[13,14]等类型。沈远超等^[15]将焦家式金矿化类型划分为“灰矿”、“斑杂矿”、“红矿”和“脉矿”4种类型。笔者认为焦家式、河西式、玲珑式是胶西北金矿的3种基本类型,其他均为三者之间的过渡类型。在矿石类型划分的早期阶段,六队的工程技术人员及有关研究人员^[16,17]均认为,焦家式与玲珑式金矿类型存在垂直分带关系,焦家蚀变岩型矿床定位于深部,而玲珑石英大脉型则定位于浅部。近年来多数研究者否定了垂直分带的认识^[14],转而认为二者主要是水平分带关系^[3,18,19]或者认为不同的矿化类型受不同级别或性质的构造控制^[2,15,20]。卢焕章等^[9]则认为:焦家矿床的矿化位于脆性剪切带中,在浅部(上部);玲珑西山的含金石英脉型矿化位于脆-韧性剪切带中,即在中部;而产在韧性剪切带中的矿床(如产在破头青剪切带中的矿体)则位于深部。

从表面现象分析,胶西北金矿类型在垂向上及水平方向上分带性均较明显:焦家金矿在开采过程中,于原来勘查控制的1、2号主矿体下盘发现了3号矿脉群(图4),为产于钾化花岗岩中的陡倾网脉细脉状矿脉群^[2~4];寺庄矿区深部金矿床的3个矿体群自上而下表现出自浸染状黄铁绢英岩化碎裂岩型矿石向细脉-网脉状黄铁绢英岩化花岗岩型矿石转变的垂向分带特点。这些事实证实了金矿类型的垂直分带现象是客观存在的:平面上,蚀变岩型金矿分布于焦家主断裂中(如焦家、新城、马塘、寺庄金矿床),网脉状金矿(如东季、上庄、河西、河东等金矿床)分布于主断裂下盘的蚀变花岗岩中,脉状矿则离主断裂稍远(如望儿山金矿床),即从位于玲珑岩体边缘的焦家主断裂向岩体内部方向矿石类型呈明显的侧向分带。实际上,这些不同的矿石类型恰恰是伸展构造系统不同构造部位不同变形特征的显示,按照伸展构造特点建立的新的焦家式金矿成矿模式(图5)可以很好的解释上述现象:在主断面附近岩石受到的伸展剪切应力最大,以强烈的拉伸为特色,形成倾向与伸展滑动方向一致的一系列伸展断层,构造岩为变形均匀的碎粒岩和糜棱岩,矿化均匀分布,形成浸染状蚀变岩型矿石;主断面之下,由伸展引起的剪切应力,产生了具共轭剪节理性质的网状裂隙带,沿之形成网脉状矿石;远离主断面,岩体上拱产生的引张作用,造成玲珑花岗岩中产生近直立的裂隙带,形成脉状矿石。显然,胶西北金矿类型具有与构造分带有联系的垂直分带规律,表面上的水平分带,只不过是地壳抬升剥蚀作用造成的假

象。玲珑岩体中的石英脉型金矿,实际是其顶部主伸展构造带及蚀变岩型、网脉状金矿被剥蚀后出露于地表的。玲珑岩体核部有近 10km 宽的无矿地段,则是矿化蚀变带被完全剥蚀的结果。各种金矿类型不是严格的呈自上而下的带状分布,往往呈过渡关系,如:焦家金矿 3 号脉以蚀变岩型细脉网脉状金矿为主夹石英脉型金矿^[4],河西金矿红布矿段 - 265m 中段 CM72 穿脉所见之 2 号矿体网脉状矿中心夹有浸染状(蚀变岩型)矿,望儿山金矿上部为石英脉型金矿其下见有蚀变岩型金矿^[15]。变形强烈的次级断裂,由于糜棱岩、碎粒岩较发育,往往也可形成蚀变岩型金矿,但因为强变形带较窄,蚀变岩型金矿厚度不大,常与周围的网脉型、石英脉型金矿产生相间分布的现象。

以往研究表明,胶西北地区的各种类型金矿均形成于 120Ma 左右^[11,21~22]。笔者认为不同类型金矿形成的相对时间略有差异,深部含矿热液上升遇到伸展构造的致密遮挡层后,首先在主构造面附近与下盘岩石进行交代蚀变,形成浸染状蚀变岩型矿体;随着热液的消耗,深部成矿物质的浓度越来越大,高浓度的成矿物质挤入到网状裂隙带中,形成网脉状多金属硫化物矿体;后期,在玲珑花岗岩体顶部产生的张裂隙带中,具有强大的负压区,使矿液被吸进来形成石英脉型矿体。

鉴于蚀变岩型、石英脉型等金矿是同一构造作用、同一成因、同一时代的产物,其表现形式的差别只不过是受其形成时的构造位置或构造变形形式的控制,因此可将其统称为“胶东式”金矿,其下分为焦家式、河西式、玲珑式 3 种亚类型。

3.3 焦家金矿带深部具有巨大的金矿资源潜力

多年来的地质勘查证实,胶西北地区金矿主要赋存于主断裂下盘的玲珑花岗岩中,因此焦家断裂与招平断裂之间的玲珑花岗岩分布区一直被作为该地区金矿找矿的重点地段。有人根据该地区 3 条主要控矿断裂走向、倾角相近,但相邻两断裂的倾向相反的特点,分别称之为“断背形”、“断向形”,并认为“断背形”为有矿地段,“断向形”为无矿地段^[7]。然而,按照本文的成矿模式,在前人认为的“断向形”无矿地段,恰恰是有矿的,由于该地段没有遭受剥蚀,因此金矿资源潜力很大,但矿床的埋藏深度亦较大,是今后深部找矿的重点地段;而前人认为的“断背形”有矿地段,由于已遭受一定程度的剥蚀,因此深部找矿潜力没有前者大。所以,笔者认为,三仓断裂与焦家断裂之间的大型伸展构造下凹部位(“断

向形”位置)应是今后深部找矿的重点地段。以往地质工作将找矿目标放在赋存连续厚大矿体的焦家主断裂下盘附近的黄铁绢英岩带、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带 2 个矿化蚀变带中,实践证明,以黄铁绢英岩化花岗岩或红化花岗岩为特点的第三矿化蚀变带中虽然单矿体规模较小,但矿化蚀变带规模巨大(如寺庄矿区深部金矿床的第三矿化蚀变带最厚达 496m),构造裂隙比较发育,矿体数量多,因此资源潜力很大(如寺庄矿区深部金矿床 III 矿体群金资源量占矿床总资源量的 58.51%)。

根据胶西北地区金矿近等距分布、尖灭再现等分布规律^[13~14,23],焦家断裂第二矿化富集带不会只有一个特大型金矿,随着地质工作的深入将会发现更多的大中型金矿。按照焦家断裂带的延伸深度分析,第二矿化富集带之下还可能第三乃至第四矿化富集带。当然实际情况会比上述认识复杂得多,但无论如何,焦家断裂带深部资源潜力巨大是毫无疑问的。

4 结论

1) 莱州寺庄矿区深部金矿床,是一个位于焦家断裂带深部第二矿化富集带中的特大型破碎带蚀变岩型金矿。黄铁绢英岩带、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带、黄铁绢英岩化花岗岩带等 3 个控矿岩性带控制了 3 个矿体群。III 号矿体群虽然处于较弱蚀变带,但资源量较大。矿体产状大多与主裂面一致或平行,呈似层状、脉状或透镜状产出,主要矿体赋存于 - 235 ~ - 926m 标高之间。

2) 寺庄矿区深、浅部金矿床对应矿体之间的无矿间隔为垂深 100 ~ 250m,深部金矿床矿体数量、规模、品位等均明显好于浅部。

3) 焦家断裂为大型铲状断裂,与三仓断裂、招平断裂共同构成了一条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。焦家断裂与三仓断裂大致在地表以下 4000m 左右深度相连。

4) 焦家式与玲珑式金矿是同一构造背景下形成的不同构造位置的产物,其成矿模式为:在伸展构造主断面附近的岩石受到强烈的伸展剪切应力,产生倾向与伸展滑动方向一致的一系列伸展断层,构造岩为变形均匀的碎粒岩和糜棱岩,形成浸染状蚀变岩型矿石;主断面之下,由伸展引起的剪切应力,产生了具共轭剪节理性质的网状裂隙带,形成网脉状矿石;远离主断面,岩体上拱造成的引张作用产生近直立的裂隙带,形成脉状矿石。3 种类型矿床可统称为“胶东式”金矿。

5) 焦家金矿带深部具有巨大的金矿资源潜力,三仓断裂与焦家断裂之间的大型伸展构造下凹部位是今后深部找矿的重点地段,同时要重视在弱蚀变的黄铁绢英岩化花岗岩带中的金矿找矿工作。

致谢

中国地质科学院地质研究所李锦轶研究员审阅全文并给予悉心指导,山东地矿局金矿专家郝万祥教授级高级工程师对本文提出了有益的建议,文章审稿专家的修改意见大大提高了本文的质量。在此一并致谢。

[参考文献]

- [1] 张德亭,孙之夫,张锐,等. 山东焦家金矿床深部成矿预测与找矿效果对比[J]. 地质找矿论丛, 2002, 17(2): 107 - 115.
- [2] 张连昌,曾庆栋,沈远超,等. 胶西北红布金矿地质特征及构造解析. 地质与勘探[J], 2002, 38(3): 18 - 22.
- [3] 汪劲草,夏斌,汤静如. 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, 2003, 27(2): 147 - 151.
- [4] 张锐,曾庆栋. 焦家金矿3脉成矿规律探讨[J]. 黄金科学技术, 2004, 12(2): 16 - 21.
- [5] 苗来成,罗镇宽,关康,等. 胶东招掖金矿带控矿断裂演化规律[J]. 地质找矿论丛, 1997, 12(1): 26 - 35.
- [6] 李厚民,沈远超,刘铁兵. 胶东西北部焦家式与玲珑式金矿的成因联系[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 621 - 624.
- [7] 李俊建,罗镇宽,刘晓阳,等. 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[J]. 矿床地质, 2005, 24(4): 361 - 372.
- [8] 徐刚,郑达兴,温长顺. 胶东焦家断裂带与金矿的成因关系[J]. 地质力学学报, 1998, 4(2): 53 - 58.
- [9] 卢焕章, Guy A. Cambault, 李院生, 等. 山东玲珑—焦家地区形变类型与金矿的关系[J]. 地质学报, 1999, 73(2): 174 - 188.
- [10] 朱志澄,宋鸿林主编. 构造地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1990, 183 - 190.
- [11] 李厚民,毛景文,沈远超,等. 胶西北东季金矿床钾长石和石英的 Ar - Ar 年龄及其意义[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 72 - 77.
- [12] 中生代苏—鲁活动大陆边缘榴辉岩、煌斑岩、金矿及富集地幔间的成因联系[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 425 - 435.
- [13] 宋明春,王沛成主编. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社, 2003, 434~608, 908 - 913.
- [14] 李宏骥. 胶北地区内生金矿成矿规律[J]. 山东地质, 2002, 18(3~4): 72 - 77.
- [15] 沈远超,李厚民,刘铁兵,等. 胶西北焦家式金矿化类型及其研究意义[J]. 地质与勘探, 2001, 37(1): 48 - 51.
- [16] 王燕,卢作祥. 山东焦掖金矿带焦家式金矿的矿床分带[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1988, 13(2): 137 - 146.
- [17] 姚凤良,刘连登,孔庆存,等. 胶东西北部脉状金矿[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1990, 234.
- [18] 吕古贤. 山东玲珑金矿田和焦家金矿田成矿深度的测算与研究方法[J]. 中国科学, D辑, 1997, 27(4): 338 - 342.
- [19] 李金祥,郭涛,吕古贤. 试论胶东西北部金矿化类型及其与构造关系[J]. 贵金属地质, 1999, 8(2): 87 - 91.
- [20] 邓军. 山东招掖金矿带断裂构造分带与蚀变矿化分带关系研究[J]. 矿床地质, 1994, 13(增刊): 17 - 19.
- [21] 杨金中,李光明. 胶东中生代两期金矿化作用的对比研究及其意义[J]. 地质与勘探, 2001, 37(1): 33 - 37.
- [22] Xiao 'ou Zhang, Peter A. Cawood, Simon A. Wild, et al. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north - western Jiaodong peninsula China[J]. Mineralium deposita, 2003, 38: 141 - 153.
- [23] 郑小礼,郑广玉,高海峰,等. 焦家金矿床矿体赋存规律研究及其预测效果[J]. 黄金学报, 2000, 2(4): 279 - 282.

GREAT PROGRESS AND FAR - REACHING SIGNIFICANCE OF DEEP EXPLORATION IN THE JIAOJIA METALLOGENIC BELT, SHANDONG PROVINCE

SONG Ming - chun^{1,2}, CUI Shu - xue³, YANG Zhi - li³, JIANG Hong - li³, YANG Cheng - hai², JIAO Xiu - mei²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2. Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Jinan 250013;

3. Na 6 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Zhaoyuan 265400)

Abstract: Through 5 years deep exploration in the Jiaojia metallogenic belt of Shandong province, a superlarge altered rock type gold deposit, which is located in the depths of Sizhuang mining area at Laizhou city, is founded. There is 100~250m vertical interval of no ore space between newly founded deep ores and shallow ores of Sizhuang mine. It is indicated that three ore - controlling fracture zones in the northwest Jiaodong area like Sancang, Jiaojia and Zhaoping fractures are similar obviously. These shovel - like faults constitute of large - scale extensional structure along boundary of Linglong granitoid and Precambrian rocks. A new mineralization model for Jiaojia - type gold deposits is proposed. Rocks closed to main fracture of extensional structure underwent intense extensional shear stress. A series of extensional extensional faults, which dip consistently with extensional slipping direction, were formed. Structural rocks are cataclasite and mylonite with uniform deformation, and formed altered rock type ores. Under main fracture of extensional structure, rocks underwent shear stress due to extensional fault, consequently formed net - shaped fissure belt with conjugate joints. Network gold ores are formed. Far away from main fracture of extensional structure, rocks underwent tensile stress due to magmatic body up lift, consequently formed approximate vertical fissure belt, and formed vein gold ores (Linglong type).

Key words: Jiaojia gold metallogenic belt, deep ore, Sizhuang mining area, extensional fault