范世家,薛伟

有色金属矿产地质调查中心,北京,100012

内容提要:本文以焦家断裂带深部上盘发现金矿体的地质事实为依据,将焦家断裂在成矿后对矿体的破坏作用 作为讨论重点,根据现今焦家断裂上、下盘金矿体以断层泥为界,有被错断的明显特征,指出发育在焦家断裂主断裂 面中的断层泥为成矿后断裂活动的产物。依据上、下盘金矿在矿石类型、围岩蚀变、矿石矿物、成矿阶段等方面具有 极为相似一致特征,提出在117.69~121 Ma成矿期,焦家断裂带中的上、下盘蚀变岩型金矿统一形成于深度 3~9 km 之间成矿期的焦家断裂带中,二者在成矿时具有时、空上的完全统一性。受焦家断裂总体正断层效应影响,现今焦 家断裂深部新发现的上盘金矿(化)体应为下盘金矿(化)体被错断的部分。

关键词:焦家断裂; 焦家式金矿; 成矿后断裂; 断层泥; 正断层效应

焦家式("碎裂蚀变岩型")金矿为发育于蚀变 构造岩中的黄铁绢英岩化碎裂(碎粒)岩型金矿化 (沈远超,2001)。宋明春等(2018)总结其详细特征 为:破碎带蚀变岩型金矿,也称为焦家式金矿,因金 矿石主要是蚀变的断裂破碎岩石而得名。矿石类型 主要有3种:浸染状黄铁绢英岩(或浸染状黄铁绢 英岩质碎裂岩)型、细脉—浸染状黄铁绢英岩化花 岗质碎裂岩型和细脉—浸染状黄铁绢英岩化花岗岩 型。围岩蚀变主要有黄铁绢英岩化、硅化和钾化,矿 床受区域性较大规模断裂的控制,主矿体常产于断 裂下盘靠近主断面附近,矿体规模大,矿化连续稳 定,矿体形态较简单。

焦家式蚀变岩型金矿是胶东最重要的金矿类型,其资源总量占胶东金矿的87%,中型及以上矿床数量占总数量的64%(宋明春等,2020)。无疑焦家式金矿是胶东式金矿中最重要的类型。

近年来的金矿深部勘查工作,发现了赋存于焦 家断裂深部上盘中的焦家式金矿,突破了以往焦家 式金矿多赋存于焦家断裂下盘的认识。其中 2017 年对焦家成矿带深部招贤勘查区(赋存标高-1260~ -2170 m)的找矿勘查,发现赋存于焦家断裂带深部 主裂面(断层泥)之上黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩 带和局部分布的黄铁绢英岩化碎裂岩带中的Ⅳ号矿 体群,圈定矿体4个,其资源量占招贤勘查区估算总 量的 3.85%(祝德成等,2018)。

2018年在莱州吴一村勘查区完成深度 3266.06 m 的科研深钻 ZK01 孔 ("中国岩金第一见矿深钻"),新发现金矿体 6 层,该孔深部矿体位于主断裂面(断层泥)之上,累计见矿厚度 20.87 m,Au 平均品位 1.85×10⁻⁶,最高品位 13.65×10⁻⁶。深钻控制的吴一村预测区-2000~-4000 m 区间推断金矿资源量约 900t 的资源潜力(于学峰等,2019)。

上述金矿体的新发现,使焦家断裂深部上盘金 矿的成因成为研究的焦点,焦家断裂深部上盘金矿 与下盘金矿是同期成矿还是两次成矿?紧邻焦家主 断裂面上、下盘的金矿体是否在成矿期时是连续的? 其矿床成矿过程及成矿后演化开始被广大地质工作 者所聚焦。

研究矿床形成后的变化、改造过程和保存现状, 有重要的实际和理论意义,它有助于全面认识矿床 的生成环境和现存环境,在结合研究矿床的形成和 保存两个方面,可以系统地了解矿床生成、演变的全 过程(翟裕生等,1999)。本人参与焦家金矿带中新 城金矿下盘次级断裂控矿研究的项目,在收集前人 资料的基础上,本文通过对成矿后断裂对原有矿体 明显的破坏分析,以综述的形式对山东胶西北金矿 区焦家断裂带上盘碎裂蚀变岩型金矿的成矿加以讨 论,以加深对焦家主断裂面上盘(断层泥之上)金矿



Vol. 68 No. 1

Jan . . 2022

收稿日期:2021-04-22;改回日期:2021-10-11;网络首发:2021-10-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.10.065 作者简介:范世家,男,1967年生,博士,高级地质工程师,主要从事矿产地质调查工作;Email: 497675821@qq.com。

成矿的重视,同时指出焦家断裂带上、下盘金成矿为 一个同时、同空间的统一地质作用产物;现今金矿多 位于断裂带下盘的原因是成矿后的焦家断裂再活动 对原有矿体的破坏造成的,进而对胶西北金矿深部 金矿体的赋存位置提供找矿方向的建议。

1 地质概况

胶东半岛位于华北克拉通东南缘和太平洋板块 西缘,是一个主要由前寒武纪基底岩石和超高压变 质岩块组成、中生代构造—岩浆作用发育的内生热 液金矿集区(杨立强等,2014;于学峰等,2019)。大 规模金成矿作用受控于 NNW—SSE 向主构造应力 场引起的韧 脆性形变,形成于剪压 剪张构造体 制转换过程中(杨立强等,2019; Deng Jun et al., 2020)。

本文区内地层有新太古宇胶东岩群及古近系五 图群,胶东岩群是区内最老的地层,为一套角闪岩相 和角闪麻粒岩相区域变质岩;古近系五图群为一套 含煤、油页岩的碎屑沉积[黄县组地层清理后归为 五图群(迟培星等,1994)],分布于新城金矿北部一 带,与玲珑花岗岩为焦家断裂接触关系^①。

区内岩浆侵入活动强烈而频繁,中生代的侵入 岩主要由 160~150 Ma 的中生代玲珑序列原地重熔 型钙碱性的黑云二长花岗岩(范宏瑞等,2005;邓军 等,2006;Deng Jun et al.,2020)和132~126 Ma 的中 生代郭家岭序列壳幔混合高钾钙碱性的似斑状花岗 闪长岩类(杨立强等,2014)组成,同时也发育有煌 斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等基性岩脉(于学峰等, 2019)。

焦家断裂带则位于胶东西北部莱州市紫罗姬家 至龙口市姚家一线。断裂长度近70km,宽50~500 m;断裂平均走向30°,倾向NW,倾角一般为29°~ 43°。断裂下盘发育较多分支断裂。断裂大致沿早 前寒武纪变质岩系与中生代玲珑及郭家岭花岗岩的



granite; Ar₁γδοQ—Neo-archean Qixia series dacodiorite gneiss; Ar₁νM—Neo-archean Malianzhuang series metagabbro

接触带分布(宋明春等,2018)。现今 ZK01 深钻揭 示焦家断裂带从浅部到深部倾角逐步变缓,从垂深 -2000 m 的 25°左右逐步转变为-2850 m 的 20°左 右,是一上陡下缓的铲式断裂(于学峰等,2019)。 焦家断裂及其下盘次级断裂控制了新城、滕家、焦 家、河东、河西、纱岭和朱郭李家等 20 余处金矿床, 累计探明金资源储量超过 1500 t(宋明春等,2018)。

2 焦家断裂带内金矿成矿时代及深度

构造不仅可以控制矿床的形成,而且能够制约 矿床的演化(吴淦国,1998)。焦家断裂带对金矿的 控制作用是无疑的,但焦家断裂多期次的活动,尤其 是成矿后断裂对矿体的破坏作用一直以来为广大地 质工作者所忽视。而讨论该问题,需要首先确定焦 家断裂带内金矿成矿时代及深度。

2.1 焦家断裂带内金矿成矿时代

胶东金矿同位素年龄范围为110.6~123.0 Ma, 胶东大多数金矿床形成于120±5 Ma(宋明春等, 2018)。前人对焦家式金矿(仓上、新立、新城、焦 家、望儿山金矿)获得的成矿年龄集中于118.8~ 121 Ma之间(表1),测年矿物为(热液蚀变)绢(白) 云母,测年方法为⁴⁰Ar-³⁹Ar。其成矿年龄分布较为 集中,由于绢云母化是焦家式金矿直接近矿围岩蚀 变,绢(白)云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 的测年结果与焦家式金矿 成矿时代应近于同时,可代表焦家式金矿的成矿年 龄。测年结果反映本区焦家断裂带中的焦家式金矿 主成矿时代为早白垩世欧特里夫阶期间。

2.2 焦家断裂带内金矿成矿深度

焦家式金矿成矿深度的确定,前人主要从流体 包裹体方面进行了研究,本文在此引用前人对焦家 断裂带内金矿的研究成果。

焦家金矿在 105~100 Ma±期间成矿深度-1632.38~-2243.6 m±,即使考虑地形、后期构造及 地质作用的影响等因素,胶东玲珑一焦家式金矿床仍然表现出在大约-3 km±浅层地壳深度形成的特征,因而该类金矿属于中浅成矿床(吕古贤等, 1996)。

焦家金矿床成矿流体为 CO₂—H₂O—NaCl 体 系,成矿流体具低盐度(1.43%~4.79% NaCleq)、低 密度(0.624~0.870 g/cm³)的特征,成矿温度集中 在 260~340℃之间,属中温范围,成矿压力区间为 63~126 MPa,成矿深度为 6.40~7.34 km(张佳楠, 2012)。

新城金矿其成矿流体为中温、低盐度、富含 H₂O 和 CO₂ 的 H₂O—CO₂—NaCl 体系。成矿温度集中于 260~320℃之间,成矿压力为 62~112 MPa,成矿深 度为 -6.34~-9.23 km 之间(刘峰旭,2016)。

此外,胶西北金矿集区新立、焦家和大尹格庄金 矿床成矿流体具有中—低盐度(变化范围为1.36% ~11.85%NaCleq),低密度(变化范围为0.45~0.94 g/cm³)的特点,主成矿温度为219~388℃,主要成 矿压力集中在40~70 MPa(尹业长,2020),推测其 成矿深度为-5.0~-6.80 km之间。

前人采用岩浆岩绿帘石压力计,计算玲珑花岗 岩的侵位深度为 10~15 km(张华锋等,2006)。采 用角闪石全铝压力计,计算早白垩世郭家岭岩体侵 位深度为(13.0±1.6) km。郭家岭岩体在 130 Ma 形成后到艾山岩体侵位(116 Ma),地壳总体隆升剥 蚀达 10±1.6 km 左右(豆敬兆等,2015),而早白垩 世区域上出露于焦家断裂带以东的艾山、海阳、牙 山、三佛山、伟德山等岩体(伟德山型花岗岩)侵位 深度则普遍小于 3.5 km(张华锋等,2006)。其中 126±3~108±2 Ma 的伟德山型花岗岩的侵入年龄 (宋明春等,2020)与胶东式金矿的成矿时间段吻合 较好。

伟德山型花岗岩大量出露于胶东东部大别—苏

表 1 焦家金矿带及邻区焦家式金矿测年成果表

Table 1	Outcome	table o	f dating	for.Jiaoji	a tv	pe-ore i	n Jiao	jia metall	ogenic	belt a	and a	djacent	regior
	ouveenie				~ ~,	P* 01* 1			Seme	~~~~			

序号	矿床名称	测试对象	测试方法	成矿时代PH	参考文献
1	仓上金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	121.3±0.2 Ma(p); 121.1±0.5 Ma(I)	Zhang Xiao' ou et al.,2003
2	新立金矿	钾长石	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	121. 5±1. 3~120. 5±1. 2 Ma	Zhang Liang et al.,2017
3	焦家金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	120. 5±0. 6~119. 2±0. 2 Ma	Li Jianwei et al. ,2003
4	新城金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	120. 7±0. 2~120. 2±0. 3 Ma	Li Jianwei et al. ,2003
5	望儿山金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	121±0.4 Ma; 119.4±0.2 Ma	Li Jianwei et al. ,2003
6	望儿山金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	120. 7±0. 6~119. 2±0. 5 Ma	Yang Liqiang et al. ,2017
7	界河金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	120.7±0.8 ~118.8±0.7 Ma	Bi Shijian and Zhao Xinfu, 2017
8	新城金矿	绢云母	³⁹ Ar- ⁴⁰ Ar 定年	119.78±0.90 Ma	刘跃,2015

鲁造山带中,在金成矿区则隐伏在深部,与之对应的 浅成小岩体和大量中—基性岩脉常见于金成矿区内 (宋明春等,2014)。该岩体现今出露至地表,可类 比概略估算焦家式金矿的成矿深度。其岩体就位深 度为3.5 km 加上现今焦家金矿的延深2.5 km,推 算焦家式金矿的成矿深度约为6.0 km。这与焦家 断裂带内金矿包裹体测压估算的成矿深度较为一 致。以上为结合区域上与焦家式金矿形成时代接近 的岩体抬升的高度来估算成矿深度,但介于区域上 伟德山型花岗岩岩体空间上与焦家断裂有一定的距 离,本区抬升量在此供参照认识。

前人对焦家断裂带内金矿成矿深度的认识虽有 一定偏差,但总体介于 3~9.23 km 之间,以现有金 矿出露地表现状来分析,本文对成矿深度的认定,可 估算成矿后焦家断裂对矿体的抬升高度。

3 早白垩世以来焦家断裂对地质体的 构造错动

构造不仅是局部的控矿因素,还可以从大区域 上控制或影响岩浆活动、沉积作用等各类地质作用 (翟裕生等,2002)。前人研究了焦家断裂多期活动 特征,以金成矿作为划分节点,总体可归纳为对成矿 前断裂构造活动,成矿期断裂活动,成矿后断裂活动 的三大阶段,尽管认识难以完全统一,但都肯定了焦 家断裂多期活动的特点(吕古贤等,1993;杨敏之 等,1996;苗来成等,1997;李厚民等,2002)。焦家断 裂早白垩世以来对地质体的构造改动,主要体现在 对胶西北前寒武纪及古近纪地层、侏罗纪以及早白 垩世岩体的相对抬升方面。因此现今的地层、构造、



岩体分布状况是焦家断裂多期活动最终造成的结 果。

3.1 焦家断裂带"总体正断层性质"

断层两侧岩层的缺失或重复是判断断层存在及 其性质的重要地质依据(陈国达,1985)。焦家金成 矿带地质简图(图 2)中,焦家断裂带在基岩出露区 大体沿前寒武纪地质体与玲珑花岗岩接触带展布, 至深部切入玲珑花岗岩中(宋国政等,2017),断裂 带下盘为白垩纪郭家岭似斑状花岗岩体及侏罗纪玲 珑花岗岩体,而断裂带上盘自北向南依次为新太古 界马连庄序列、古近纪五图群地层及侏罗纪玲珑花 岗岩体。

三山岛西岭矿区 ZK96-5 钻孔剖面图(图1中 A—B)、焦家金矿区 112 勘探线剖面、及莱州吴一村 勘查区内被誉为"中国岩金第一见矿深钻"的 ZK01 孔显示 28.70~1321.84 m(焦家断裂上盘)为前寒 武系栖霞序列新庄单元和马连庄序列栾家寨单元 (见图 5)。已有剖面图中揭示,前寒武系变质岩系 仅分布于断裂带上盘,呈"悬浮状"分布于玲珑花岗 岩体之上。

焦家断裂带下盘没有前寒武纪变质岩系及古近 纪五图群地层的分布,仅有玲珑花岗岩体及郭家岭 似斑状花岗岩体,前寒武系变质岩及古近纪地层只 出现在焦家断裂带上盘浅部,这一地质事实表明焦 家断裂带下盘相对其上盘总体抬升,其所遭受剥蚀 程度相对较深。是焦家断裂带"总体正断层性质" 的有力证据。

而古近纪五图群地层仅分布于焦家断裂上盘, 宏观上被焦家断裂带所截切[●]。作为受焦家断裂带 影响的最新地层,其地层年代可代表区内焦家断裂 带当时活动年代的下限,即其活动时限至少要在古 近系五图群形成之后,大致 40 Ma 左右。这与焦家 断裂主断裂面内白色断层泥测年年龄(48.57~ 41.18 Ma,宋明春等,2010)较为吻合。

3.2 焦家断裂带"总体正断层"的断距

焦家断裂带对断层两侧地层及岩体分布改造的 特征表明,早白垩世以来焦家断裂对本区改造较大, 早白垩世以来的焦家断裂带总体为"正断层性质"。

假设焦家断裂带下盘存在与焦家断裂带上盘同 厚度的前寒武纪变质岩地层(现今焦家断裂上盘前 寒武纪变质岩地层厚度:吴一村勘查区内 ZK01 孔 浅部前寒武系变质岩地层厚 1321.84 m;招贤勘查 区内 320ZK01 孔前寒武系变质岩地层厚度约 1800 m(于学峰等,2019)),若仅从断层两侧被错移的岩 层厚度分析断层相对抬升量,则早白垩世热隆—伸 展起始时(宋明春等,2020)其下盘相对上盘垂直抬 升高差至少为1.3~1.8 km。这样才会导致焦家断 裂带下盘玲珑花岗岩体抬升至地表,地层仅分布于 断裂带上盘这一地质现状。此外,来自三山岛金矿 热力学演化的数据表明(Liu Xuan et al.,2017),三 山岛—仓上断裂构造两个阶段的正断层活动导致三 山岛—仓上断裂上、下盘产生了0.5~2.3 km 的垂 直差异抬升(Liu Xuan et al.,2017)。尽管其成果为 三山岛—仓上断裂的研究成果,但三山岛—仓上断 裂与焦家断裂共为同一上盘,其上盘的运动方向及 上、下盘垂直差异抬升断距都可为焦家断裂的参考。

这一相对位移量仅能保守代表本区早白垩世以 来焦家断裂带上、下盘垂向上的"总体相对抬升 量"。而早白垩世以来焦家断裂带水平方向的位移 量因缺少相对应的标志点,本文不在此讨论。

4 成矿期后焦家断裂对金矿体的 破坏作用分析

胶东金矿的成矿过程是早白垩世以来焦家断裂 构造演化中的一个部分。胶东金矿成矿时的地质、 构造格架,对了解成矿后焦家断裂对矿体的破坏作 用有非常重要的意义。对胶东金矿成矿时的地质、 构造背景状况精确的确定,是与现今金矿出露于地 表的状况相对比的基本前提条件。

4.1 金成矿构造地质背景

本区焦家断裂带中的焦家式金矿主成矿时代为 早白垩世欧特里夫阶期间。前人对成矿背景提出了 各自的认识。陈衍景等(2004)提出中生代花岗岩 类侵入和大规模成矿作用藕合于碰撞造山带的三阶 段地球动力学演化,即早阶段挤压一地壳缩短一隆 升,中阶段岩石圈拆沉并转向伸展构造体制,晚阶段 伸展,最强烈的成矿作用发生在碰撞造山过程的挤 压向伸展转变期:宋明春等(2020)认为胶东金矿为 热隆--伸展成矿模式,即在早白垩世期产生大规模 岩浆活动和流体活动,伴生地壳拉张和岩浆隆升形 成花岗岩穹窿--伸展构造,与岩浆活动有关的高强 度含矿流体活动和交代蚀变作用是胶东金矿大规模 集中产出的基础条件,地壳快速隆升引起强烈减压、 降温是大量金质从流体中析出、沉淀的重要原因,伸 展构造则为大规模金成矿提供了充足的空间(宋明 春等,2014;宋明春等,2020)。

这些认识很好地阐述了胶东金矿成矿时的构造、岩浆及地质背景,对成矿流体的热驱动力、伸展

构造导致矿床在断裂阶梯处就位等方面作了全面的 总结。同时也明确了胶东式金矿形成于伸展构造演 化之中,即胶东成矿形成的时间既不在伸展构造之 前也不在伸展构造演化之后。因此早白垩世以来焦 家断裂构造对金矿化形成以前的地层、岩体的构造 错动的演化,与早白垩世以来焦家断裂构对金矿体 的错动改变不是完全一致,二者之间存在时间差,不 能拿地层、岩浆岩体的抬升量简单适用类比于金矿 体。金矿体成矿后的改变有其自身的特殊性。

4.2 成矿后焦家断裂带内断层泥测年成果

焦家金矿田内 NE—NNE 向断层构造系统具有 继承性活动的特点,对已有矿体的改造比较明显,主 要表现为断层泥的形成以及断裂带内的石英硫化物 脉和黄铁绢英岩发生破碎(王中亮,2012)。在焦家 金矿田内,焦家主断裂主要控制着断裂构造分带中 的断层泥和挤压片理带。断层标志性特点是主断裂 面具有厚 15~60 cm 断层泥(张潮,2015)。

宋明春等(2010)对焦家断裂带内断层泥开展 K-Ar 法同位素测年,其测年年龄分为两组,灰黑色 断层泥年龄为131.1~123.5 Ma,白色断层泥年龄为 48.57~41.18 Ma,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,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 (宋明春等,2010)。

黑色断层泥含有浸染状黄铁矿或绢英岩、黄铁 绢英岩角砾,角砾呈次棱角状、次圆状。白色断层泥 含钾长花岗岩角砾,角砾也为次棱角状(张潮, 2015)。

在对新城金矿 19 个断层泥 X 射线粉晶衍射物 相鉴定,其断层泥成分归为以下 4 组:① 花岗质岩 石残留矿物:为花岗质岩石中石英和少量各种长石 类矿物。② 热液蚀变黏土矿物:主要是花岗质岩石 中长石、云母类矿物热液蚀变形成的伊利石、蒙脱 石、高岭石,可能也有部分石英为热液蚀变过程中析 出。③ 热液带入矿物:主要是各种碳酸盐矿物和硫 化物,包括白云石、方解石、黄铁矿等,部分石英也可 能属于热液带入矿物。④ 次生风化及其他矿物:包 括绿泥石等以及不确定杂质等(张潮,2015)。

2018年在莱州吴一村勘查区完成深度 3266.06

m 的科研深钻 ZK01 孔也见有焦家断裂主断裂面断 层泥, 孔深 2801.34~2801.58 m 处为第一层断层 泥, 为次级断裂; 孔深 2854.59~2854.69 m 处是主 断裂面, 厚度 10 cm, 呈黑色—浅绿色, 深黑色断层 泥和浅绿色断层泥分别厚 5 cm, 呈疏松破碎状, 断 层泥在科研深钻 ZK01 深孔中也稳定出现, 说明焦 家断裂主断裂面断层泥具有相当稳定的"层位"; 焦 家金矿带深部有两处断层泥发育, 主要为成矿后的 断层活动形成, 成矿期的主裂面可能已被矿化作用 掩盖(于学峰等, 2019)。

金矿形成之后,断裂系统发生了正断层性质的构造活动,使矿体抬升、剥蚀,同时形成未固结的断层泥,空间上与碎裂岩紧紧伴随,十分醒目,常被称为主裂面。该主裂面有时将矿体分隔或错断(李厚民等,2002)。因此尽管前人有黑色断层泥的测年131.1~123.5 Ma 觉,但这并不代表黑色断层泥就形成于131.1~123.5 Ma 间,确切的是黑色断层泥 中的测年矿物形成于131.1~123.5 Ma 间;且即使黑色断层泥能形成于131.1~123.5 Ma 问,确切的是黑色断层泥 中的测年矿物形成于131.1~123.5 Ma 问;且即使

前人对焦家断裂带内断层泥的测试及研究表明,焦家主断裂具有成矿后活动的特点,而成矿后焦 家断裂活动对先期形成的金矿体造成了破坏错动这 是毫无疑问的。

4.3 成矿后焦家断裂对金矿体的破坏

成矿后焦家断裂表现为对金矿体的破坏及错 动,从新城矿区 175 线剖面图(图 3)及 I、V号矿体 不同中段矿体与焦家断裂关系平面组合图来看(图 4),焦家断裂截切了新城金矿的 I号矿体,表现为 矿体紧邻焦家断裂主断裂面,而过了主断裂面(断 层泥),金矿体则消失;图 5 焦家金矿中的 112 剖面, 其中的 I号矿体,也与新城金矿的特点一致,说明成 矿后焦家断裂破坏了原有矿体的连续性,其上、下盘 的矿体则由于错动距离大,剖面图上则出现上盘金 矿体"缺失"的状况,是成矿后断裂活动的特征之 一。体现出金矿体被成矿后焦家断裂活动破坏的特 点。

2018 年焦家断裂深部勘查钻孔(ZK01 孔)在莱 州吴一村勘查区完成,该孔孔深 3266.06 m, 2854.59~2854.69 m 处为焦家断裂主断裂面,其上 盘紧靠断层泥(2849.39~2854.59 m 处),为编号 I-6 黄铁绢英岩化碎裂岩型的金矿体,(I-6 金矿体,



图 3 胶东新城金矿 175 线地质剖面简图(据崔秋波等[●]修改) Fig. 3 Simplified section of the exploration line175 in Xincheng gold deposit, eastern Shandong (Modified from Cui Oiubo et al.[●])])

视厚度 5.2 m,金平均品位 1.37×10⁻⁶)(于学峰等, 2019),而断层泥下,则无金矿体,且断层泥呈疏松 破碎状,深部金矿体在焦家断裂主断裂面(断层泥) 处的"突然截止"现象,与浅部矿体被焦家断裂破 坏、错断极为一致,断层泥作为焦家断裂明显成矿期 后断裂活动的特征之一,使得原有完整金矿体被错 断为上、下盘分开的现状,表现出成矿期后焦家断裂 对原有上下盘金矿体完整一体性的破坏作用(图 5)。

焦家金矿 I 号矿体 112 剖面图与焦家金矿深部 钻孔剖面图(图 5)的联合分析可以看出,以焦家断 裂主断裂面(断层泥)为界,焦家断裂主断裂面浅部 出现下盘的金矿、深部则出现上盘金矿,是成矿后焦 家断裂正断层效应的显示,导致其下盘中的金矿相 对抬升至近地表处;而其上盘的金矿体则被错动到 埋深更深。

柳振江等(2010)通过磷灰石裂变径迹热年代 学测试获得玲珑花岗岩距今110 Ma 以来的隆升演 化历史,结果显示岩体剥蚀速率平均为30.3±4.4 mm/ka,根据剥蚀速度计算玲珑花岗岩剥蚀量仅为 2.0~4.2 km(柳振江等,2010)。但从其文中附图 可看出焦家断裂及三山岛断裂的共同的上盘,与焦 家断裂带下盘的剥蚀速率是不一样的,其上盘的剥 蚀速率为 18~24 mm/ka;而焦家断裂下盘(大尹格 庄及夏甸金矿西部)的剥蚀速率为 33~36 mm/ka; 从其 110 Ma 年以来剥蚀情况图来看,焦家断裂上、 下盘的差异抬升约为 1.0~1.98 km。新城金矿床 (焦家断裂下盘)自~113~99 Ma 以来剥蚀量约 5±1 km;自成矿(~120 Ma)以来剥蚀量约 6±1 km,其中 自~113~99 Ma 至 15±3 Ma 剥蚀和冷却速率分别为 50±14 m/Ma 和 2.0±0.9 ℃/Ma;15±3 Ma 至今剥蚀 和冷却速率分别为 93±38 m/Ma 和 3.3±1.3 ℃/Ma (张良,2016)。

锆石裂变径迹和(U—Th)/He 与磷灰石裂变径 迹数据结果显示,胶西北区大致分别于早白垩中晚 期、早白垩世晚期至晚白垩世和古近纪冷却至 240± 50 ℃、193~175 ℃ 和 125~60 ℃。其中早白垩世晚 期—晚白垩世早期,主断裂下盘隆升和剥蚀相对较 快。主控矿断层活动等导致了其上下盘差异化的冷 却、隆升和剥蚀,但玲珑拆离断层和焦家断裂所夹持 的地块总体隆升和剥蚀差异不大。根据矿物对法评 估的成矿后总体剥蚀量为 3~7 km(张良,2016)。

上述来自热力学演化的数据及结论,区域上其时间节点基本为从 120 Ma 开始,因此可以视为金已



图 4 新城金矿不同中段矿体与焦家断裂关系平面组合图(引自马学东,2011) Fig. 4 Constitutional diagram of gold ore body and Jiaojia fault by several elevation in Xincheng gold deposit (modified from Ma Xuedong, 2011&)

经成矿之后的抬升及剥蚀,而具体到焦家断裂带上 的新城金矿而言,从张良(2016)的研究成果来看, 因其采样位置均取自焦家断裂带下盘的原因,应是 特指下盘金矿的抬升。而焦家断裂带上、下盘的差 异抬升距离,从柳振江等(2010)图件中的数据进而 的推断,从其110 Ma 年以来剥蚀来看,焦家断裂上、 下盘的差异垂直抬升为 1.0~1.98 km 之间。来自 热力学演化的数据也表明,焦家断裂上、下盘发生具 有正断层性质的差异抬升,差异垂直抬升距离为 1.0~1.98 km之间,而这也必然也是已经成矿的金 矿体的上、下盘的差异垂直抬升距离。

5 焦家断裂成矿期上、下盘金矿成矿 时空的统一性

前人对"焦家式金矿"成矿模式作了较多的总结,其中之一可概括归纳为成矿期成矿热液受断层



图 5 深钻揭示的焦家断裂蚀变带剖面图(CD 剖面)(左)(引自于学峰等,2019)及 焦家金矿床 112 号勘探线剖面图(引自宋国政等,2017)(右)

Fig. 5 Section of Jiaojia altered Fault Belt revealed by deep drilling (CD Profile) (Modified from Yu Xuefeng et al., 2019&) and 112 Section of Jiaojia Gold Deposit (Modified from Song Guozheng et al., 2017&)

Q—第四系;Ar₃J—新太古界胶东岩群斜长角闪岩、黑云二长变粒岩、黑云角闪变粒岩;Ar₃γδοQ—新太古界栖霞序列新庄单元英云闪长质 片麻岩;Ar₃uM—新太古界马连庄序列栾家寨单元变辉长岩;J₃ηγ—晚侏罗世玲珑序列黑云二长花岗岩;SγJH—黄铁绢英岩化花岗质碎 裂岩;γSJH+SγJ—黄铁绢英岩化碎裂花岗岩及绢英岩化花岗质碎裂岩;SvJ—绢英岩化斜长角闪岩质碎裂岩;SJ—绢英岩化碎裂岩; SJH—黄铁绢英岩化碎裂岩;γSJH—黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩;γJH—黄铁绢英岩化花岗岩;vJ—绢英岩化斜长角闪岩;γJ—绢英岩化 花岗岩;

Q-Quaternary; Ar_3J -Neoarchean Jiaodong group amphibolite, biotite monzogranulite, biotite amphibole ranulitite; $Ar_3\gamma\delta Q$ -Neoarchean Qixia series Xinzhuang unit tonalitic gneiss; Ar_3uM -Neoarchean malianzhuang series metagabbro (amphibolite); $J_3\eta\gamma$ -Late Jurassic Linglong series hiotite monzonitic granite; $S\gamma JH$ -beresitization granitic cataclasite; γSJH +S γJ -beresitization broken granite and phyllic granitic cataclasite; SuJ-phyllic cataclasite; SJH-beresitization broken granite; γSJH -beresitization broken Granite; γJH -beresitization broken Granite; γJH -beresitization granite; γJ -phyllic amphibolite; γJ -phyllic granite

泥的隔档,金矿主要赋存于断裂面(断层泥)下盘的 这一认识,随着焦家断裂带深部上盘金矿的发现,进 而产生了焦家断裂成矿期上、下盘金矿成矿是否具 有统一时空性的问题探讨。

以莱州吴一村勘查区完成深度 3266.06 m 的科 研深钻 ZK01 孔中所见的上盘金矿资料为讨论对 象.其矿石类型为黄铁绢英岩化碎裂状花岗岩型、黄 铁绢英岩化花岗质碎裂岩型、黄铁绢英岩化碎裂岩 (碎斑、碎粒、碎粉岩)型,总体可归为黄铁绢英岩化 碎裂状花岗岩型;矿石矿物组成方面,深部矿石中所 见矿物可分为3类:① 原岩残留矿物:主要是斜长 石、钾长石、石英、黑云母:② 蚀变非金属矿物:包括 绢云母、微粒石英、钾长石、碳酸盐矿物、绿泥石、高 岭石等:③ 金属矿物:黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌 矿、磁黄铁矿、自然金、银金矿、局部见碲铋矿、辉碲 铋矿及自然铋等。其中黄铁矿是主要载金矿物,其 次为黄铜矿和方铅矿;围岩蚀变类型有钾化、硅化、 黄铁矿化、绢云岩化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、碳酸 盐化等蚀变类型(于学峰等,2019)。上述矿石类 型、矿石矿物、围岩蚀变类型、成矿阶段的划分等与 浅部下盘金矿完全相同,二者具有一期成矿统一性 的"亲缘"特征,尽管焦家断裂带深部上盘金矿还没 有确切的定年测试成果发表来进行二者的验证,但 形成的金矿体及各方面特征应是较一致的,初步判 断焦家断裂成矿期上、下盘金矿成矿不应当是两期 成矿的产物,而是同一期成矿的产物。同时焦家断 裂上、下盘金矿体都有紧靠断层泥的特征,金矿体有 明显被焦家断裂成矿期后断层错断的特征,将这种 成矿后正断层效应消除之后,则成矿期时焦家断裂 上、下盘金矿体都处于统一的空间内。

现今焦家式金矿的分布状况只是受成矿期及成 矿后焦家断裂的共同影响造成焦家断裂面(断层 泥)下盘金矿抬升至地表处,上盘金矿相对下降,埋 深加大,形成了空间上焦家断裂上、下盘金矿空间分 离的现状。但焦家断裂上、下盘金矿在成矿时具有 统一空间,二者并非分离。只是由于成矿后上、下盘 金矿被相对错动的距离较大,使得上、下盘金矿在空 间上的连续性被破坏。

6 焦家断裂上盘金矿找矿预测探讨

基于本文对成矿期后焦家断裂活动的分析,认 为焦家断裂上、下盘金矿成矿时具有时间、空间统一 性特点,现今的矿体分布状况,是成矿期后焦家断裂 对原有矿体造成了错断及破坏的改动结果。尤其是 其二者成矿时空间统一性的认识,对于焦家断裂深 部上、下盘的金矿找矿预测有着更重要的现实意义。

(1)对于焦家断裂深部上盘的金矿预测,必然 存在有浅部下盘金矿被错断的部分,莱州吴一村勘 查区钻孔 ZK01,该孔孔深 2854.59~2854.69 m 处 是主断裂面(断层泥),其上紧靠断层泥 2849.39~ 2854.59 m 处,编号为 I-6 黄铁绢英岩化碎裂岩型 的金矿体就属于这种情况。而其上盘这类金矿体的 大小受成矿后焦家断裂对原有"完整金矿体"的具 体错动情况而定。

(2) 前人在总结焦家金矿浅部矿化时,认为金 矿体的形成和空间分布受断裂流体输导系统的控 制,流体总体沿焦家主断裂从南西方向向上和侧向 运移(郭涛等,2008)。按照流体成矿沿成矿期焦家 断裂运移的特点,假设成矿期成矿流体通道与现今 焦家主断裂面一致,对焦家断裂深部上盘金矿成矿 预测时.应意识到焦家断裂深部上盘也发育有与浅 部下盘金矿完全一致的金矿围岩蚀变类型及相似的 分带,而这也意味着在焦家断裂深部上盘赋存焦家 式金矿的可能性也会极大。现今焦家断裂内出露于 地表的马塘金矿 Ⅱ-1 金矿体(金资源量 100t) 就位 于焦家断裂主断裂面(断层泥)之上(刘玉琪,1995; 高书剑等,2010),说明焦家断裂上盘浅部就有大金 矿赋存的现状,其焦家断裂深部上盘不仅仅有被错 断的金矿体部分,也具有赋存大金矿的可能性。如 果以金矿资源量为参考指标,设想成矿后焦家断裂 对原有完整金矿体的二分之一处错断,其上下盘各 自具有原有矿体一半的金资源量,则以下盘金矿资 源量为参考,其现今上盘深部也应该有相对应的另 一半的金矿资源量,则其潜力也非常巨大,以上焦家 断裂上盘深部金矿资源量估算仅供阅者参考。

(3) 本文也在此初步探讨一下焦家断裂深部下 盘金矿的找矿预测问题,从莱州吴一村勘查区 ZK01 钻孔位置及钻孔资料显示,在 2416.29~3234.16 m 成功控制焦家金矿带,其蚀变带厚度达 817.87 m; 该孔孔深 2854.59~2854.69 m 处是主断裂面(断层 泥),该孔内金矿(化)体仅位于主断裂面之上,主断 裂面(断层泥)之下 2854.69~3234.16 m 主要为黄 铁绢英岩化碎裂状二长花岗岩夹黄铁绢英岩化花岗 质碎斑岩、黄铁绢英岩化花岗质碎斑岩、弱黄铁绢英 岩化碎裂状黑云二长花岗岩等,几乎不再有矿化: 3234.16~3266.06 m 为钾化黑云母二长花岗岩(于 学峰等,2019),基于本文对成矿后焦家断裂对矿体 改造的认识,作者初步认为焦家断裂深部下盘发现 金矿可能性变小,其原因之一是下盘深部金矿已经 被错至近地表;其二是深部焦家金矿带其蚀变带厚 度达817.87 m(吴一村勘查区 ZK01 钻孔资料)明显 比浅部下盘金矿围岩蚀变带要宽,结合三山岛西岭

矿区 ZK96-5 及 ZK01 钻孔位置分析,其原因有可能 是 ZK01 钻孔见矿位置靠近铲式断裂深部后的根 部,有接近深部成矿热液流体上升通道处的特征,而 成矿热液流体上升通道处主要是导矿构造,其温压 条件并不是沉淀成矿的最佳场所。

7 结论及认识

(1) 焦家断裂带中的上、下盘蚀变岩型(焦家 式)金矿具有统一的时空属性,空间上,焦家断裂带 中的上、下盘蚀变岩型(焦家式)金矿统一形成于深 度 3~9 km 之间的成矿期焦家断裂带中;成矿时间 为 117~121 Ma。

(2) 经分析,现今焦家断裂深部新发现的上盘 金矿(化) 体应为下盘金矿(化) 体被错断的部分。 成矿期及成矿后焦家断裂两次断裂活动的联合正断 层效应结果,导致现今地表蚀变岩型(焦家式)金矿 赋存于成矿后焦家断裂下盘,焦家断裂带中统一空 间形成的上盘蚀变岩型(焦家式)金矿则相对上盘 埋深加大;从现有较少深孔勘查成果资料分析,二者 垂直高差错距可达 2.1 km。

(3) 白色断层泥为成矿后的产物, 而黑色断层 泥则有可能不是成矿期就存在的产物, 对发育于焦 家断裂中的断层泥参与了成矿期金矿化成矿过程, 有待于进一步探讨。

(4) 从现有深孔勘查成果资料分析,受成矿后 焦家断裂的正断层效应影响,焦家断裂深部上盘中 必然存在有完整金矿体被错断的的部分;现有上盘 深部金矿体初始见矿标高约为-2100 m;推断在焦 家断裂上盘标高-2100 m以深的部分区段存在金矿 体。

8 存在问题

本文在综述焦家断裂带蚀变岩型(焦家式)金 矿上、下盘找矿认识时,断裂构造性质及断距主要是 依据上、下盘地层、岩体、金矿体被成矿后断裂错动 的"结果现状"分析恢复得来的,本文中,图 5 中吴 一村勘查区的钻孔 ZK01 内焦家断裂主断裂面上盘 内的 I-6号金矿体与焦家金矿内焦家断裂主断裂 面下盘的 I号金矿体也并不绝对确定是一个矿体, 因为成矿后焦家断裂带也具有水平方向的错动,但 可作为上盘金矿见矿的标高参考,而具体垂向及水 平方向的错动距离的这一问题,有待后续构造学方 面研究加以论证。

其次,笔者等也注意到蚀变岩型(焦家式)金矿

围岩蚀变分带中,钾化为位于最外带,但钾化带的温 度却是最高的,比靠近断裂面处黄铁绢云岩化的形 成温度明显要高,与金成矿温度自中心向外,由高到 低的正常模式不同,然而从焦家金矿112 剖面图分 析来看,钾化带仅分布于玲珑花岗岩中,而没有分布 于前寒武系斜长角闪岩中;但与金矿密切相关的绢 云岩化却分布于前寒武系斜长角闪岩中,并形成绢 英岩化斜长角闪岩及绢英岩化斜长角闪岩质碎裂 岩,说明本区钾化与花岗岩有更密切的内在关系,而 与金成矿关系不大,应归属于成矿前期的蚀变,是否 将其划归为金矿的直接围岩蚀变之一?本文在此将 其作为问题提出,仅供审阅者参阅。

致谢:首先对在山东新城金矿一起相处过的矿 山领导及地质同仁表示谢忱!本文成文之前,得到 过中国地质科学院矿产资源研究所裴荣富院士对本 文核心思路的肯定!两位审稿专家对文章提出了很 好的修改建议,特表谢忱!在此对促成疫情期间给 予联系的王浩琳女士特表谢忱!本人曾与中国地质 科学院地质力学研究所施炜研究员,刘建民研究员, 中国地质科学院刘刚博士一起进行过有益的讨论, 特表谢忱!

注释 / Notes

- 温桂军,周明岭,徐韶辉,迟义宾,荆永渠,袁文花,魏绪峰,高书 剑,于舰慧,王和立. 2008.山东省胶西北金矿集中区金矿资源潜 力调查及深部远景预测研究报告.报告完成单位:山东省第六地 质矿产勘查院;现资料保存单位:全国地质资料馆.
- 崔秋波,兆和,黄自旭. 2016. 山东省莱州市新城金矿资源储量核 实报告.报告完成单位:山东正元地质资源勘查有限责任公司; 现资料保存单位:山东黄金矿业股份有限公司.

参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a " & " is in Chinesee with English abstract; The literature whose publishing year followed by a

- "#" is in Chinese without English abstract)
- 陈国达. 1985. 成矿构造研究法.北京:地质出版社:1~421.
- 陈衍景, Pirajno F, 赖勇, 李超. 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.
- 迟培星,奕恒彦,刘明渭,徐立军. 1994. 山东省新生代岩石地层清 理意见. 山东地质,10(增刊):70~86.
- 邓军,杨立强,葛良胜,王庆飞,张静,高帮飞,周应华,江少卿.
 2006.胶东矿集区形成的构造体制研究进展.自然科学进展,16
 (5):513~518.
- 豆敬兆, 付顺, 张华锋. 2015. 胶东郭家岭岩体固结冷却轨迹与隆 升剥蚀. 岩石学报, 31(8):2325 ~ 2335.
- 范宏瑞,胡芳芳,杨进辉,沈昆,翟明国.2005.胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿.岩石学报,21(5): 1317~1328.
- 高书剑, 李秀章, 宋国政. 2010. 马塘金矿床浅深部矿体地质特征 对比. 科技传播, 2010下(7):166~168.

- 郭涛, 邓军, 吕古贤, 孙之夫. 2008. 焦家金矿床成矿流体运移的通道、方式及驱动机制. 地球学报, 29(1):81~88.
- 李厚民, 沈远超, 毛景文, 刘铁兵. 2002. 焦家式金矿构造—流体成 矿作用特征——以胶西北金城金矿床为例. 大地构造与成矿学, 26(4):396~403.
- 刘峰旭. 2016. 山东莱州新城金矿床矿化富集规律及矿床成因探 讨.导师:王力. 长春:吉林大学硕士学位论文:1~62.
- 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. 黄金, 16(1): 13 ~ 22.
- 刘跃. 2015. 胶东早白垩世早期新城花岗岩成因及其成矿贡献.导师:杨力强.北京:中国地质大学(北京).硕士学位论文:1~92.
- 刘钊. 2018. 焦家矿田金矿床地质特征及成矿规律研究. 导师:王建国. 北京:中国地质大学(北京). 硕士学位论文:1~69.
- 柳振江,王建平,郑德文,刘家军,刘俊,付超. 2010. 胶东西北部 金矿剥蚀程度及找矿潜力和方向——来自磷灰石裂变径迹热年 代学的证据. 岩石学报,26(12):3597~3611.
- 吕古贤,孔庆存. 1993. 胶东玲珑一焦家式金矿地质. 北京科学出版 社:1~253.
- 卢焕章, Arcam G,李院生,魏家秀, 陈娜娜. 张国平,袁万春, 陈晓枫,龙洪波. 1999. 山东玲珑—焦家地区形变类型与金矿的关系. 地质学报,73(2):174~188.
- 吕古贤, 孔庆存, 邓军, 李晓波. 1996. 山东玲珑和焦家金矿成矿深 度研究与测算. 地质论评, 42(6): 550 ~ 559.
- 马学东. 2011. 胶东新城金矿床构造—蚀变—矿化网络结构. 导师: 杨立强.北京:中国地质大学(北京)硕士学位论文:1~99.
- 苗来成,罗镇宽,关康,黄佳展. 1997. 胶东招掖金矿带控矿断裂演 化规律. 地质找矿论丛, 12(1):26~35.
- 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. 地质与勘探, 37(01):48 ~ 51.
- 宋国政,闫春明,曹佳,郭志峰,鲍中义,刘国栋,李山,范家盟, 刘彩杰. 2017. 胶东焦家成矿带超千米深部金矿勘查突破及意 义——以纱岭矿区为例.黄金科学技术,25(3):19~27.
- 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.地质学报,84(9):1349~1356.
- 宋明春,李三忠,伊丕厚,崔书学,徐军详,吕谷贤,宋英昕,姜洪利,周明岭,张丕建,黄太岭,刘长春,刘殿浩. 2014. 中国胶东 焦家式金矿类型及其成矿理论. 吉林大学学报(地球科学版), 44(1):87~104.
- 宋明春,宋英昕,丁正江,李世勇. 2018. 胶东金矿床:基本特征和 主要争议. 黄金科学技术, 26(4):407~422.
- 宋明春,林少一,杨立强,宋英昕,丁正江,李杰,李世勇,周明岭.
 2020. 胶东金矿成矿模式. 矿床地质,9(2):215 ~ 236.
- 宋英昕,宋明春,丁正江,魏绪峰,徐韶辉,李杰,谭现峰,李世勇,张照 录,焦秀美,胡弘,曹佳. 2017. 胶东金矿集区深部找矿重要进 展及成矿特征. 黄金科学技术,25(3):4~18.
- 王中亮. 2012. 焦家金矿田成矿系统. 导师:杨立强.北京:中国地质 大学(北京) 博士学位论文:1 ~ 226.
- 吴淦国. 1998. 矿田构造与成矿预测. 地质力学学报, 4(2):1~4.
- 杨立强,邓军,王中亮,张良,郭林楠,宋明春,郑小礼. 2014. 胶东 中生代金成矿系统. 岩石学报, 30(9): 2447 ~ 2467.
- 杨立强,邓军,宋明春,于学峰,王中亮,李瑞红,王偲瑞. 2019. 巨型矿床形成与定位的构造控制:胶东金矿集区剖析. 大地构 造与成矿学,43(3):431~446.
- 杨敏之, 吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京:地质 出版社:1~228.

- 尹业长. 2020. 胶西北金矿集区金成矿作用与成矿模型.导师:郝立 波.长春:吉林大学博士学位论文:1~118.
- 于学峰,杨德平,李大鹏,单伟,熊玉新,迟乃杰,刘鹏瑞,于雷亨. 2019. 胶东焦家金矿带 3000 m 深部成矿特征及其地质意义. 岩 石学报, 35(9):2893 ~ 2910.
- 翟裕生,邓军,李晓波. 1999. 区域成矿学. 北京: 地质出版社:1~287.
- 翟裕生, 吕古贤. 2002. 构造动力体制转换与成矿作用. 地球学报,23(2):97~102.
- 张潮. 2015. 焦家金矿田断裂带构造控矿模式. 导师:邓军. 北京: 中国地质大学(北京)博士学位论文:1~185.
- 张华锋,李胜荣,翟明国,郭敬辉. 2006. 胶东半岛早白垩世地壳隆 升剥蚀及其动力学意义. 岩石学报, 22(2):285~295.
- 张良. 2016. 胶西北金成矿系统热年代学. 导师:杨立强. 北京:中 国地质大学(北京)博士学位论文:1~148.
- 张佳楠. 2012. 山东莱州焦家金矿床矿化富集规律及矿床成因探 讨.导师:王力.长春:吉林大学硕士学位论文:1~72.
- 赵泽霖,李俊建,党智财,付超,唐文龙,郭瑞鹏,张文.2020.胶西北焦 家金矿深部成矿流体性质及成矿作用.地质论评,66(2):425-438.
- 祝德成,张文,王英鹏,田京祥,刘汉栋,侯建华,高华丽. 2018. 山东 省莱州市招贤金矿区矿体特征与找矿前景. 山东国土资源,34 (9):14~19.
- Bi Shijian, Zhao Xinfu. 2017. ⁴⁰ Ar∕ ³⁹ Ar dating of the Jiehe gold deposit in the Jiaodond Peninsula, eastern North China Craton: Implications for regional gold metallogeny. Ore Geology Reviews, 86:639 ~ 651.
- Chen Guoda. 1985&. Methods of Metallotectonic Researchs. Beijing: Geological Publishing House: 1 ~ 421.
- Chen Yanjing, Pirajno F, Lai Yong, Li Chao. 2004&. Metallogenic time and tectonic setting of the Jiaodong gold province, eastern China. Acta Petrologica Sinica, 20(4):907 ~ 922.
- Chi Peixing, Luan Hengyan, Liu Mingwei, Xu Lijun. 1994&. On the division and correlation of the Cenozoic lithostratigraphy units in Shandong Province. Shandong Geology, 10(suppl.) 70 ~ 86.
- Deng Jun, Yang Liqiang, Ge Liangshen, Wang Qingfei, Zhang Jing, Gao Bangfei, Zhou Yinghua, Jiang Shaoqing. 2006#. Study on the structural system of Jiaodong mining concentration area. Progress in Natural Science, 16(5):513 ~ 518.
- Deng Jun, Yang Liqiang, Groves D I, Zhang Liang, Qiu Kunfeng, Wang Qingfei. 2020. An integrated mineral system model for the gold deposits of the giant Jiaodong province, eastern China. Earth-Science Reviews, 208(2):103~274.
- Dou Jingzhao, Fu Shun, Zhang Huafeng. 2015&. Consolidation and cooling paths of the Guojialing granodiorites in Jiaodong Peninsula: Implication for crustal uplift and exhumation. Acta Petrologica Sinica, 31(8):2325 ~ 2335.
- Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Jinhui, Shen Kun, Zhai Mingguo. 2005&. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong Province. Acta Petrologica Sinica, 21(5):1317 ~ 1328.
- Gao Shujian, Li Xiuzhang, Song Guozheng. 2010 #. Comparison of geologic feature of ore between superficial part and deep part in Matang gold deposit. Applied Technology, (7):166 ~ 168.
- Guo Tao, Deng Jun, Lü Guxian, Sun Zhifu. 2008&. The channel way, style and driving mechanism of ore fluid migration in the Jiaojia gold deposit. Acta Geoscientica Sinica ,29(1) : 81 ~ 88.
- Li Houmin, Shen Yuanchao, Mao Jingwen, Liu Tiebing. 2002&. Tectonics—mineralization of Jiaojia-type gold deposits——An

example from Jincheng gold deposit, northwestern Jiaodong Peninsula. Geotectonica et Metallogenia, $26(4):396 \sim 403$.

- Li Jianwei , Vasconcelos Paulo M, Zhang Jun, Zhou Meifu, Zhang Xiaojun, Yang Fenghua. 2003. ⁴⁰ Ar/³⁹ Ar constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, eastern China. The Journal of Geology, 111(6): 741 ~ 751.
- Liu Fengxu. 2016&. Mineralization Enrichment Regularity and the Genesis Discussion of Xincheng Gold Deposit, Laizhou Shandong. Supervisor: Wang Li. Changchun: Master's Dissertation of Jilin University: 1 ~ 62.
- Liu Xuan, Fan Hongrui, Evans N J, Yang Kuifeng, Danišík M, McInnes B I A, Qin Kezhang, Yu Xuefeng. 2017. Exhumation history of the Sanshandao Au deposit, Jiaodong: Constraints from structural analysis and (U—Th)/He thermochronology. Scientific Reports, 8 (1): 1 ~ 12.
- Liu Yuqi. 1995 #. Research and use on ore-controlling regularity of Matang gold deposit, Laizhou, Shandong Province. Gold, 16(1):13 ~ 22.
- Liu Yue. 2015&. Petrogenesis of the Gold-hosting Granitoids and Their Contribution to Mineralization in the Xincheng Gold Deposit, Jiaodong Peninsula. Supervisor: Yang Liqiang. Beijing: Master's Dissertation of China University of Geosciences; 1 ~ 92.
- Liu Zhao. 2018&. Study on Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Gold Deposits in Jiaojia Ore-field. Supervisor: Wang Jianguo. Beijing: Master's Dissertation of China University of Geosciences: 1 ~ 69.
- Liu Zhenjiang, Wang Jianping, Zheng Dewen, Liu Jiajun, Liu Jun, Fu Chao. 2010&. Exploration prospect and post-oredenudation in the northwestern Jiaodong Gold Province, China: Evidence from apatite fission track thermochronology. Acta Petrologica Sinica, 26(12): 3597~3611.
- Lu Huanzhang, Arcam G, Li Yuansheng, Wei Jiaxiu, Chen Nana, Zhang Guoping, Yuan Wanchun, Chen Xiaofeng, Long Hongbo. 1999&. The relation between deformation types and gold mineralization in the Linglong-Jiaojia district, Shandong Province, China. Acta Geologica Sinica, 73(2): 174~188.
- Lü Guxian, Kong Qingcun. 1993&. Geology of Linglong—Jiaojia Type Gold Deposit in Jiaodong. Beijing: Science Press:1 ~ 253.
- Lü Guxian, Kong Qingcun, Deng Jun, Li Xiaobo. 1996&. Study and estimate of depths of the formation of the Linglong and Jiaojia gold deposit, Shandong, Geological Review, 42(6): 550 ~ 559.
- Ma Xuedong. 2011&. Structure—Alteration—Mineralization Network of Xincheng Gold Deposit, Jiaodong Peninsula. Supervisor: Yang Liqiang. Beijing: Master's Dissertation of China University of Geosciences: 1 ~ 99.
- Miao Laicheng, Luo Zhenkuan, Guan Kang, Huang Jiazhan. 1997&. The evolution of the ore-controlling faults in the Zhaoye gold belt, eastern Shandong Province. Contributions to Geology and Mineral Resources Reserch, 12(1):26 ~ 35.
- Shen Yuanchao, Li Houmin, Liu Tiebing, Zhang Lianchang, Li Guangming. 2001&. Types of gold mineralization of Jiaojia type's gold deposits in Jiaodong district, Shandong Province, and their importance of studying. Geology and Prospecting, 37(1):48 ~ 51.
- Song Guozheng, Yan Chunming, Cao Jia, Guo Zhifeng, Bao Zhongyi, Liu Guodong, Li Shan, Fan Jiameng, Liu Caijie. 2017&. Breakthrough and significance of exploration at depth more than 1000 m in Jiaojia Metallogenic Belt, Jiaodong: A case of Shaling Mining Area. Gold Science and Technology. 25(3):19 ~ 27.
- Song Mingchun, Cui Shuxue, Zhou Mingling, Jiang Hongli, Yuan

Wenhua, Wei Xiufeng, Lü Guxian. 2010. &. The deep oversize gold deposit in the Jiaojia Field, Shandong Province and its enlightenment for the Jiaojia-type Gold Deposits. Acta Geologica Sinica. 84(9):1349 ~ 1356.

- Song Mingchun, Li Sanzhong, Yin Pihou, Cui Shuxue, Lü Guxian, Song Yingxin, Jiang Hongli, Zhou Mingling. Zhang Pijjan, Huang Tailing, Liu Changchun, Liu Dianhao. 2014&. Classification and metallogenic theory of the Jiaojia-Style Gold Deposit in Jiaodong Peninsula. China. Journal of Jilin University (Earth Scince Edition):44(1):87 ~ 104.
- Song Mingchun, Song Yingxin, Ding Zhengjiang, Li Shiyong. 2018&. Jiaodong gold deposits: essential characteristics and major controversy. Gold Science and Technology, 26(4): 406 ~ 422.
- Song Mingchun, Lin Shaoyi, Yang Liqiang, Song Yingxin, Ding Zhengjiang, Li Jie, Li Shiyong, Zhou Mingling. 2020&. Metallogenic model of Jiaodong Peninsula gold deposits. Mineral Deposits, 39(2): 215 ~236.
- Song Yingxin, Song Mingchun, Ding Zhengjiang, Wei Xuefeng, Xu Shaohui, Li Jie, Tian Xianfeng, Li Shiyong, Zhang Zhaolu, Jiao Xiumei, Hu Hong, Cao Jia. 2017&. Major advances on deep prospecting in Jiaodong gold ore cluster and its metallogenic characteristics. Gold Science and Technology, 25(3):4 ~ 18.
- Wang Zhongliang. 2012 &. Metallogenic System of Jiaojia Gold Orefield, Shandong Province, China. Supervisor: Yang Liqiang. Beijing: Doctor's Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 1 ~ 226.
- Wu Ganguo. 1998&. Mine field structure and metallogenic prediction. Jouranal of Geomechanics, 4(2): 1 ~ 4
- Yang Liqiang, Guo Linnan, Wang Zhongliang, Zhao Rongxin, Song Mingchun, ZhengXiaoli. 2017. Timing and mechanism of gold mineralization at the Wang'ershan gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China. Ore Geology Reviews, 81: 491 ~ 510.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Wang Zhongliang, Zhang Liang, Guo Linnan, Song Mingchun, Zheng Xiaoli. 2014&. Mesozoic gold metallogenic system of the Jiaodong gold province, eastern China. Acta Petrologica Sinica, 30(9): 2447 ~ 2467.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Song Mingchun, Yu Xuefeng, Wang Zhongliang, Li Ruizhong, Wang Sirui. 2019&. Structure control on formation and localization of giant deposits: An example of Jiaodong gold deposits in China. Geotectonica et Metallogenia, 43(3):431 ~ 446.
- Yang Minzhi, Lü Guxian. 1996&. The Geology—Geochemistry of Gold Deposits of the Greenstone Blet in Jiaodong District. China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese):1 ~ 228.
- Yin Yechang. 2020&. Gold Mineralization and Metallogenic Model of the Jiaoxibei Gold Deposit Concentrated Area. Supervisor: Hao Libo. Changchun: Doctor's Dissertation of Jilin University: 1 ~ 118.
- Yu Xuefeng, Yang Deping, Li Dapeng, Shan Wei, Xiong Yuxin, Chi Naijie, Liu Pengrui, Yu Leiheng. 2019&, Mineralization characteristics and geological significance in 3000m depth of Jiaojia gold metallogenic belt, Jiaodong Peninsula. Acta Petrologica Sinica, 35(9):2893 ~ 2910.
- Zhai Yushen, Deng Jun, Li Xiaobo. 1999&. Regional Metallogeny. Beijing; Geological Publishing House: 1 ~ 287.
- Zhai Yushen, Lü Guxian. 2002&. Transition of tectonic and dynamic regime and mineralization. Acta Geoscientica Sinica. 23(2):97 ~ 102.
- Zhang Chao. 2015&. Ore-Controlling Model of Structures in Fault Zone, Jiaojia Gold Orefield, Shangdong Province, China. Supervisor: Deng Jun. Beijing: Doctor's Dissertation of China University of

Geosciences (Beijing), 1 ~ 185.

- Zhang Huafeng, Li Shenrong, Zhai Mingguo, Guo Jinghui. 2006&. Crust uplift and its implications in the Jiaodong Peninsula, eastern China. Acta Petrologica Sinica, 22(2): 285 ~ 295.
- Zhang Liang. 2016&. Application of Thermochronology to Hydrothermal Gold Deposits, Northwestern Jiaodong Peninsula, China. Supervisor: Yang Liqiang. Beijing: Doctor's Dissertation of China University of Geosciences (Beijing), 1 ~ 148.
- Zhang Jianan. 2012&. MineralizationEnrichment Regularity and the Genesis Discussed of Jiaojia Gold Deposit, Shandong Province Laizhou. Supervisor: Wang Li. Changchun: Master's Dissertation of Jilin University: 1 ~ 72.
- Zhang Liang, Yang Liqiang, Wang Yu, Roberto Weinberg, An Ping, Chen Bingyu. 2017. Thermochronologic constraints on the processes of formation and exhumation of the Xinli orogenic gold deposit,

Jiaodong Peninsula, eastern China. Ore Geology Reviews, 81(1): 140 ~ 153.

- Zhang Xiao'ou, Cawood Peter A, Wilde Simon A, Liu Ruci, Song Hailin, Li Wen, Snee L W. 2003. Geology and timing of mineralization at the Cangshang gold deposit, north-western Jiaodong Peninsula, China. Mineralium Deposita, 38: 141 ~ 153.
- Zhao Zelin, Li Junjian, Dang Zhicai, Fu Chao, Tang Wenlong, Guo Ruipeng, Zhang Wen. 2020&. The characteristics of deep ore – forming fluid and metallogenesis of Jiaojia gold deposit, northwest Jiaodong Peninsula. Geological Review, 66(2):425-438.
- Zhu Decheng, Zhang Wen, Wang Yingpeng, Tian Jinxian, Liu Handong, Hou Jianhua, Gao Huali. 2018&. Characteristics of ore bodies and prospecting potential of Zhaoxian gold deposits in Laizhou city of Shandong Province. Shandong Land and Resources, 34(9): 14 ~ 19.

Adiscussion on katogene of Jiaojia-type gold deposit by post-mineralization fault activities and prospecting direction in Jiaojia Fault Zone, Northwestern Shandong

FAN Shijia, XUE Wei

China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing, 100012

Abstract: On the basis of summarizing the achievements of previous researches on Jiaojia type gold deposit in the Jiaojia fault zone, In terms of the fact that "gold orebody" was found in the deep hanging wall of the Jiaojia fault zone, This paper focuses on the destruction of the ore body by the Jiaojia fault after mineralization. According to the fact that the gold ore bodies in the hanging wall and footwall of the Jiaojia fault are bounded by fault gouge and have obvious characteristics of being staggered, it is pointed out that the fault gouge formed in the main fault plane of Jiaojia fault is the product of fault activity after mineralization. In terms of ore type, alteration of surrounding rock, ore minerals and metallogenic stage, the upper and footwall gold ore body have very similar and consistent characteristics, it is propose that Alterated rock type (Jiaojia type) gold deposit in hanging wall and footwall wall have complete unity in time and space during mineralization with a depth of 3~9 km in the Jiaojia fault, the newly discovered hanging wall gold (mineralization) body in the deep of Jiaojia fault should be the part of the footwall gold (mineralization) body that had been broken.

Keywords: Jiaojia fault zone; Jiaojia-type gold deposit; postmetallogenic fault; fault gouges; normal fault effect

Acknowledgements: First of all, I would like to express my gratitude to the leaders and geological colleagues I have being along with in Xincheng Gold Company, Shandong Gold Mining Stock Co., Ltd. in Shandong province. High tribute shall be paid to Pei Rongfu, the academician of institute of Mineral Resources, who affirmed the core idea of this paper before this paper was written! Special thanks to two reviewers for putting forward good suggestions to revising the article. Special thanks to Ms. Wang Haolin who helped me during the special new crown pneumonia epidemic. Thanks for the helpful discussion I had with Researcher Shi Wei and Liu Jianmin from Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences. and Dr. Liu Gang from Chinese Academy of Geological Sciences.

First author: FAN Shijia, male, born in 1967, doctor, senior engineer, mainly engaged in regional geological survey and regional ore prediction; Email: 497675820@qq. com

 Manuscript received on: 2021-04-22; Accepted on: 2021-10-11; Network published on: 2021-10-20

 Doi: 10.16509/j.georeview. 2021. 10.065
 Edited by: ZHANG Yuxu