

山东焦家金矿矿床成因及成矿模式

赵鹏沅, 顾雪祥, 邓小华

(中国地质大学, 北京 100083)

[摘要] 胶东矿集区是我国金矿资源的主要密集区, 重点解剖焦家金矿有助于深化对区域同类矿床的成因认识。文章从矿床地质、矿床地球化学、稀土元素地球化学、同位素地球化学、成矿流体以及成矿构造环境等几个方面对该矿床进行了研究, 在上述的基础上探讨了焦家金矿的矿床成因模式, 认为华北板块与华南板块碰撞的后造山作用引起的构造转折, 导致地壳拉张, 深部物质上涌, 在有利的部位大规模成矿。

[关键词] 成矿物质来源 成矿流体 成矿模式 焦家金矿 碰撞造山带

[中图分类号] P618.51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)04-0029-07

0 引言

胶东地区是我国最重要的金矿产地之一, 其储量约占我国已探明岩金储量的 1/3, 其重要性不言而喻。虽然作为环太平洋成矿带的一个重要组成部分, 但众多研究表明, 胶东地区大规模成矿时代为中生代, 而环太平洋成矿带的其他地区则是新生代成矿, 从这方面说, 对它的研究有重要的理论价值和找矿意义。对“焦家式”金矿已有大量的研究, 但对这类矿床的成矿机制和成矿模式却长期争论不休, 重点解剖焦家金矿有助于深化对区域同类矿床的成因认识。

1 区域地质背景

研究区位于胶东半岛西北部, 大地构造位置处于华北地台东缘胶北隆起区, 西靠沂沭断裂带, 南接胶莱拗陷, 北邻龙口断陷盆地和渤海拗陷, 东接牟平—即墨构造混杂带。古老的基底变形变质岩系, 多期多成因的岩浆活动和以东北向断裂为主的构造格架, 构成了本区金矿的区域地质背景(图1)。

1.1 区域地层

胶东地区地层以古元古代荆山群和粉子山群为主, 主要出露的是这两个群的低级变质岩系, 芝罘群和蓬莱群出露面积不大。中太古代唐家庄岩群及新太古代胶东岩群呈包体状残存于栖霞超单元及玲珑超单元中。下第三系在黄县盆地、胶莱拗陷西北边

缘平度一带有小面积分布, 上第三系鲁西广泛发育, 在胶东地区仅零星分布, 以基性火山岩为主夹河流相砂砾层。第四系分布于平原区、滨海及山区河谷内, 以冲积、海积砂砾层为主。

1.2 区域构造

该区经历了胶东运动 I、胶东运动 II、蓬莱运动、燕山运动、喜山运动等多次构造变动。研究区主要发育 EW 向和 NNE 向构造带, 其次为 NE 向构造带; SN 向、NW 向及复合性构造踪迹明显, 但不占主导地位^[1]。

区域内与成矿有关的主要构造简述如下: (1) 胶东西北部东西向构造为区域基底构造的一部分, 以近 EW 向延展的弧形断褶构造型式横贯全区, 主要是古老 NW 向构造的产物, 从胶东西北部构造体系图(图2)上可以看出, 从北向南大致可以划分为三个大的构造带。(2) 区内 NNE 向断裂构造发育, 以沂沭断裂为主体, 主要是在中生代印支—燕山期产生和发展起来的。断裂部分发育在花岗岩岩体内, 部分发育在花岗岩与胶东岩群(含荆山群)的接触带上, 自西向东规模较大的 NNE 向断裂性带主要有三山岛断裂带、新城—焦家断裂带、玲珑—招平断裂带等(图2)。(3) 区内 NE 向构造较为发育, 主要有北截—灵山沟断裂和柞村—驿道断裂, 此外还有一些北东向的隐伏断裂带与金矿化均较为密切。其与 NNE 向断裂复合, 可形成中小型金矿床, 是区域上较大的 NNE 向矿化带之一。

[收稿日期] 2007-05-18; **[修订日期]** 2007-05-28。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(编号:40573031)资助。

[第一作者简介] 赵鹏沅(1985年—), 女, 中国地质大学(北京)2004级在读本科生, 现主要从事矿床学的研究工作。

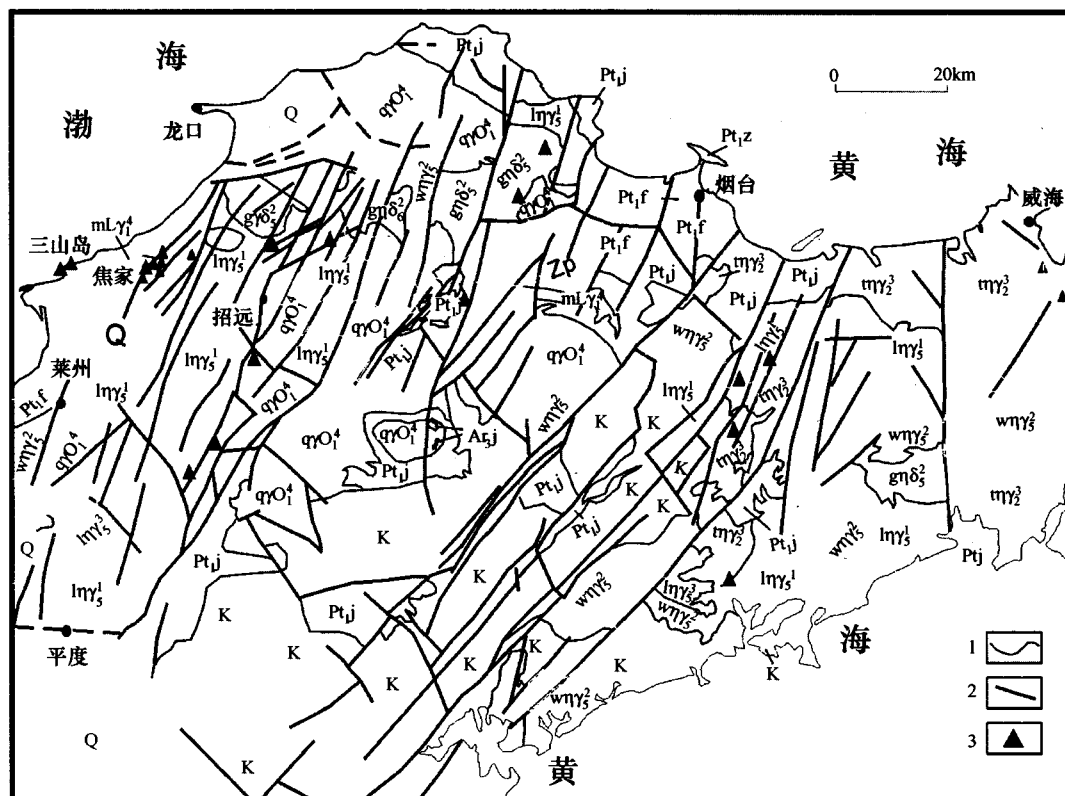


图1 胶东地区区域地质图

(据山东省地质矿产局第四、第六地质队资料修改)

Q—第四系粘土及冲积物;K—白垩系砂页岩及流纹岩、安山岩;Zp—新元古界蓬莱群灰岩、板岩及石英岩;Pt_{1z}—古元古界芝罘群石英岩;Pt_{1f}—古元古界粉子山群片岩、大理岩、变余砂岩;Pt_{1j}—古元古界粉子山群石墨片岩、变粒岩、斜长角闪岩;Ar_{3j}—胶东岩群变粒岩及斜长角闪岩;In_{1γ3}—燕山晚期崂山超单元花岗岩正长岩及正长花岗岩;g_{1δ3}—燕山中期郭家岭花岗岩闪长岩及二长花岗岩;wn_{1γ3}—燕山中期文登超单元中粗粒二长花岗岩;In_{1γ1}—燕山早期玲珑超单元二长花岗岩;t_{1γ2}—新元古界震旦期铁山超单元碱长(正长)花岗岩;q_{1O1}—新太古代五台—阜平期栖霞超单元片麻状中细粒花岗岩岩;ml_{1γ1}—新太古代马连庄超单元变辉长岩(斜长角闪岩);1—地质界线;2—断层;3—焦家金矿田内的主要金矿床

总之,EW向构造和NNE向构造对区内金矿化有着严格的控制作用,前者控制金矿化集中区的基本轮廓,后者控制区内主要金矿带的分布范围和相对位置。在两者的反接复合部位,严格地控制了区域上主要金矿田的形成、分布范围和相对位置。

1.3 岩浆岩特征

胶东地区岩浆岩主要包括花岗岩类及同期衍生脉岩,中基性和超基性岩类少见。胶东地区岩浆岩主要有太古宙、新元古代及中生代3个形成期,元古宙以来的岩浆活动比鲁西地区强烈得多,大致可分为6条岩浆岩带^[2]。

玲珑超单元片麻状黑云母花岗岩及郭家岭超单元似斑状花岗闪长岩在不同构造环境或构造部位产生,其生成过程受构造作用影响,它们相互之间及与变质岩地层主要呈渐变过渡,仅局部有突变接触。

即使侵入界限清楚亦没有大规模热接触变质和冷凝边岩带。

玲珑超单元岩浆来源于陆壳,系陆壳重熔型花岗岩类,其中含有大量变粒岩及斜长角闪岩类变质岩包体。玲珑型花岗岩以似片麻状黑云母花岗岩为主;郭家岭花岗岩以似斑状花岗闪长岩为主,斑晶为钾长石,环带发育。

2 矿床地质特征

2.1 地层、构造

矿区第四系松散沉积物发育。焦家断裂以西为隐伏区,除金华山、黄埠岭等低缓丘陵有部分基岩出露外,均为第四系所覆盖。焦家金矿田位于莱州东北部—招远西北部,金矿床受焦家断裂带(莱州—黄县区域性深大断裂带的一部分)主干及低级序断

裂带控制(图 3)。

焦家断裂矿区内长 1900 m,宽 100 ~ 200 m,已控制最大延深 925 m。平面形态呈 S 形,走向 10° ~ 30°,倾向 NW,倾角一般 30° ~ 45°,局部可达 60° ~

70°,上陡下缓。早期表现为韧性特征,可见糜棱岩;成矿期主要表现为脆性特征,以碎裂岩及构造节理发育为特征,含矿硫化物沿构造贯入或以胶结物形式出现。构造带内的应变岩石蚀变现象普遍。

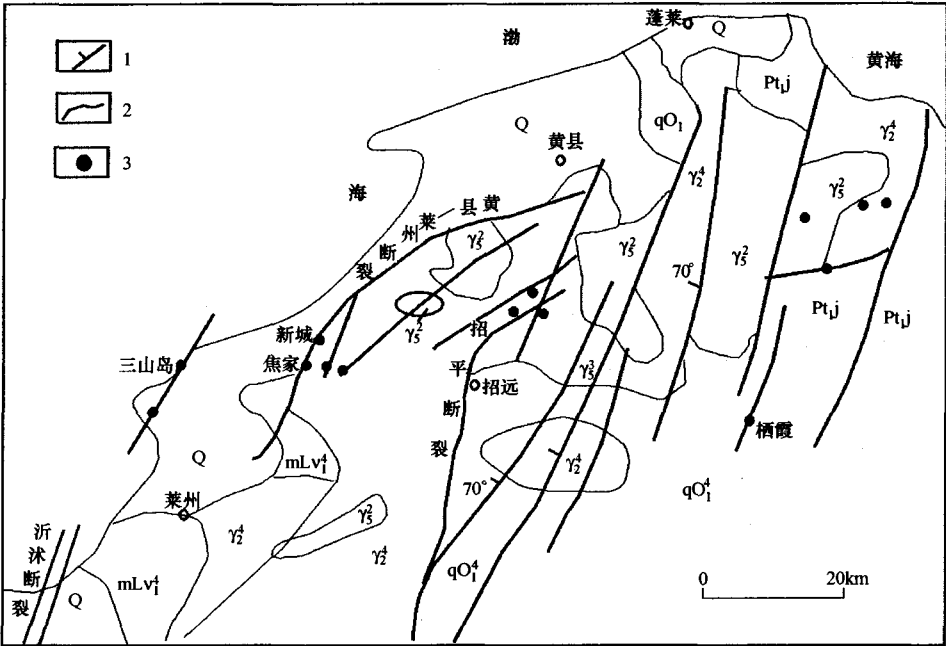


图 2 招远 - 莱州金矿田构造体系图(据山东省地质六队资料修改)

Q—第四系;Pt_{1j}—元古界荆山群变质碎屑岩;γ₂⁶—晚燕山期霏细岩;γ₂⁶—早燕山期花岗岩;γ₂¹—玲珑超单元花岗岩;mLv₁⁴—马连庄超单元变辉长岩;qO₁⁴—栖霞超单元云英闪长岩;1—断层及倾向;2—地质界线;3—金矿床

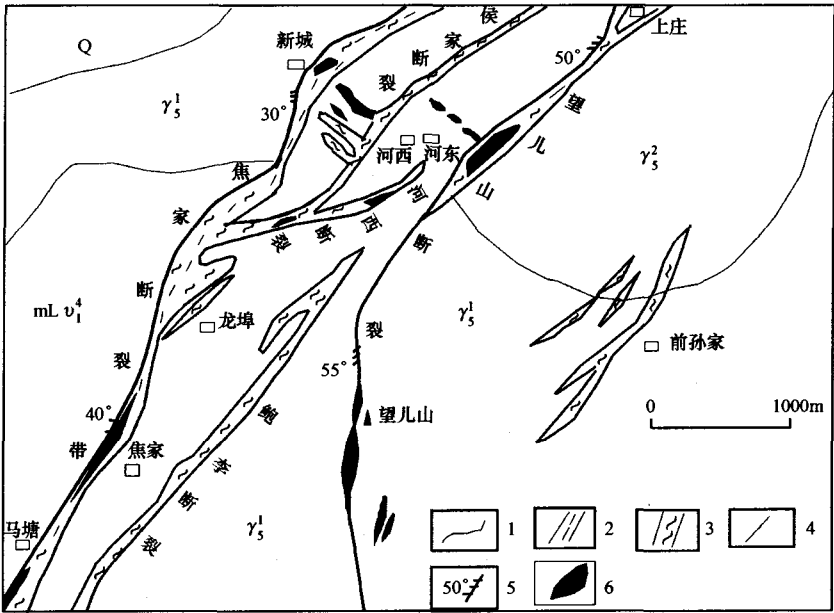


图 3 焦家金矿区地质简图(据庞绪成,2005)

Q—第四系;γ₂²—郭家岭花岗闪长岩;γ₂¹—玲珑黑云母花岗岩;mLv₁⁴—马连庄超单元变辉长岩;1—地质界线;2—早期控矿断裂蚀变带;3—中期成矿蚀变带;4—成矿后断裂;5—断裂及产状;6—金矿体

2.2 围岩蚀变及分带

2.2.1 围岩蚀变

蚀变围岩沿焦家断裂分布,主要分布于接触带靠花岗岩一侧。蚀变带走向与断层基本一致,蚀变带宽一般为 70 ~ 250 m,具上窄下宽的特点。主要围岩蚀变类型有绿泥石化、钾长石化、红化、绢云母化、硅化、黄铁矿化等。

绿泥石化分布广,属韧性剪切阶段的围岩蚀变,是面型围岩蚀变。钾长石化是高温碱性条件下形成的,是本区较早出现的围岩蚀变。钾长石呈深肉红色,自形、半自形,粒径 1 ~ 5 cm,无双晶,团块状,分布不均匀。红化是由氧化条件下形成的隐晶质金红石、赤铁矿分布于钾长石、钠长石、石英等矿物中造成的。绢云母化、硅化是本区最重要的围岩蚀变类型,绢云母和部分石英是岩浆岩中钾长石、钠长石等矿物蚀变的产物。绢云母化发生于斜长石中心形成矿物蚀变环带,也可沿斜长石双晶或垂直于斜长石双晶面发生绢云母化,有时呈放射状或扇形集合体。

黄铁矿化分布广,多呈细粒、浸染状叠加在红化带、绢英岩带之上。绢英岩中若黄铁矿含量达到 10% 以上称为黄铁绢英岩,它是矿体中的富矿部位的重要标志,其厚度和分布范围相对绢英岩要小得多,二者形成的蚀变带是焦家金矿主矿体赋存的场所,黄铁矿受后期构造作用,有时呈角砾状,有时呈碎裂状。碳酸盐化以方解石化最普遍,铁白云石化和菱铁矿化发育相对较弱。

2.2.2 蚀变分带

蚀变依据距主断层的远近及强弱划分为四个带:以黄铁绢英岩为中心,向两侧依次为黄铁绢英岩带、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带、黄铁绢英岩化花岗岩带和钾化红化花岗岩带(也称“红化”带)。各带特征见表 1。

矿床围岩 - 花岗岩的矿物组合是角闪石、黑云母、斜长石、钾长石、石英等,热液蚀变类型取决于热液蚀变程度(表 2)。

表 1 焦家金矿不同蚀变带特征(据庞绪成,2005)

特征	黄铁绢英岩带	黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带	黄铁绢英岩化花岗质带	红化带
颜色	浅灰 - 灰绿色	灰色 - 浅灰绿色	浅灰 - 淡灰绿色	淡肉红色
主要矿物成分	石英 50%, 绢云母 40%, 金属矿物(黄铁矿为主)5% - 10%	绢云母、石英和蚀变残留的钾长石、斜长石、及少量金属矿物	石英、绢云母及残留长石	基本为原岩,常见轻微的绢云母化及星散、细脉状黄铁矿化
结构	显微鳞片花岗变晶结构、变余糜棱结构	变余碎裂结构	变余碎裂结构、碎斑结构	变余碎裂花岗结构
构造岩	块状构造	斑杂状构造	块状构造、斑杂状构造	块状构造
韧性构造		有	有	有
脆性构造	发育	发育	发育	不发育
钾化				强烈
碳酸盐化	强烈	强烈	强烈	弱
厚度	0 ~ 20m	0 ~ 40m	10 ~ 100m	50 ~ 200m
含金性	好	较好	差	差
赋存矿体	主矿体	主矿体	3 号脉群	3 号脉群

表 2 焦家金矿围岩蚀变演化(据吕古贤等,1993)

阶段	成岩与成矿过渡阶段		成矿阶段		
	早	晚	早	中	晚
蚀变类型	Na 化、K 化	红化、Na 化、K + H ₂ O 化	K + H ₂ O 化、Si 化	K + H ₂ O 化、Si 化、碳酸盐化	碳酸盐化、Si 化
元素组合	Na、K、Ca、Fe ²⁺ 、Si、Al、Ti、Ni	K、Na、Ca、Fe ²⁺ 、Si、Al、Ti、Cr	Na、K、Ca、Si、Al、Ti、Cr、Ni	K、Ca、Mg、Fe ²⁺ 、Si、Al、Cr、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、S、Se、Te、Au、Ag	Na、K、Ca、Fe ²⁺ 、Si、Al、Ti、Ni
矿物组合	钠长石、微斜长石、铁绿泥石、金红石、磁铁矿	钠长石、白云母、赤铁矿、金红石	绢云母、钠长石、石英、方解石	铬绢云母、富镁绿泥石、铁白云石、方解石、石英、多金属硫化物、银金矿	方解石、菱铁矿、富铁绿泥石、石英
形成方式	交代	交代	交代	交代、充填	充填
挥发份	F、Cl	O、Cl、F	CO ₂ 、H ₂ O	S、CO ₂ 、H ₂ O	CO ₂
pH	>7	>7	>7	<7	<7
Eh	氧化	氧化	氧化	还原	还原
矿化	围岩	近矿围岩	贫矿	富矿	贫矿

早期出现钠长石化、微斜长石化,常呈团块状,交代原岩中斜长石和钾长石。在暗色矿物中出现富铁的绿泥石化与金红石化和赤铁矿化。随热液蚀变加强,钠长石化进一步发育,钾化也可表现为含 $K + H_2O$ 的白云母化,同时析出 Si 、 Ca 产生硅化及方解石化。区内发育的大量“红化”实际上是粉尘状金红石化及赤铁矿化使浅色矿物(如长石甚至石英)被染色呈红色所致。

到了成矿阶段早期,还出现少量自形钠长石化、绢云母化,硅化及方解石化也大量发育。成矿阶段中期翠绿色绿绢云母化发育(是矿化良好标志),多金属硫化物大量出现,并出现富镁的绿泥石化、铁白云石化和脉状方解石化及硅化。

2.3 矿体特征

2.3.1 矿体空间分布与产出特征

主矿体赋存于焦家断裂带的黄铁绢英岩化花岗岩碎裂岩、黄铁绢英岩化花岗岩中,最大水平厚度达 65 m,最大垂深 460m,延长近 1 200m,平均走向 30° ,倾向 NW,倾角 $26^\circ \sim 45^\circ$,约占矿床储量的 83%。3 号矿体主要分布于破碎蚀变带边部及红化蚀变花岗岩带中,成群出现,称为 3 号脉群,约占矿床储量的 17%,其单个矿体规模较小,走向与主

矿体一致或小角度相交,倾向变化大,向 SE 倾占大多数,倾角较陡,为 $55^\circ \sim 80^\circ$;SE 倾的矿体,在其靠近主矿体处,受主矿体产状复合影响逐步向 NW 倾。

主矿体中含金黄铁矿呈细粒、浸染状,含金矿物主要是自然金与银金矿,既有浸染状、团块状、网脉状等早期黄铁矿化,又出现多金属硫化物细脉。3 号脉的矿化作用晚于主矿体,以发育 Ag、Te 为特征(含金矿物为银金矿和碲银矿),而 Te 为低温、晚期的产物;矿体以脉状多金属硫化物为特征。本矿区 Ag 晚于 Au,随着成矿阶段由早到晚的演变,金的成色逐渐降低;从包体金到晶隙金、裂隙金成色也逐渐降低;单个含金矿物颗粒外围成色要低于内部成色。

2.3.2 矿石特征

各类型矿石组合、颜色、品位差别较大,主要矿石类型组合有黄铁矿-石英型、方铅矿-闪锌矿-黄铜矿型及褐铁矿-石英型。

焦家金矿床矿物种类达 50 余种,其中原生矿物占 86%,表生矿物占 14%。原生矿物中金属矿物占 65%,非金属矿物占 35%。主要有用矿物为银金矿、金银矿和自然金。黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿及褐铁矿是主要载金矿物。按类型及矿物相对含量,焦家金矿矿石的矿物组成列于表 3。

表 3 焦家金矿矿石的矿物组成(据庞绪成,2005)

相对含量		原生矿物			表生矿物
		金属矿物		非金属矿物	
主要矿物	自然金属	金属硫化物	其它金属矿物		
次要矿物	银金矿	黄铁矿	菱铁矿	石英、绢云母	褐铁矿
	金银矿 自然金	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	镜铁矿	长石、方解石、铁白云石	
副矿物	自然银 自然碲	磁黄铁矿、黝铜矿、砷黝铜矿、毒砂、斜方		重晶石、云母、绿泥石、绿帘	铜蓝、软锰
	自然铜 碲银矿	辉铅铋矿、辉银矿、辉碲铋矿、银黝铜矿、	磁铁矿 赤铁矿	石、磷灰石、锆石、榍石、褐帘	矿、白铁矿、
		锌砷黝铜矿、斑铜矿		石、金红石	孔雀石、铅矾

2.4 成矿期和成矿阶段

矿床经历了成岩期、蚀变期、成矿期和表生期 4 个时期。

蚀变期为成岩成矿过渡期,黑云母花岗岩受韧性构造及脆性构造作用,生成多组裂隙系统,热液在高温、高压作用下向破碎变形带聚集。在碱性氧化条件下,发生钾化、红化等碱交代,金被活化、迁移。在弱酸性、弱还原环境中,绢英岩化生成绢云母、绿绢云母、石英、黄铁矿等蚀变矿物,伴随部分矿化。

成矿期包括热液成矿和表生成矿两期共 5 个成矿阶段:黄铁矿-石英阶段,金-石英-黄铁矿阶段,金-石英-多金属硫化物阶段和碳酸盐阶段。石英-黄铁矿阶段和金-石英-多金属硫化物阶段是主要的成矿阶段。

3 焦家金矿成因以及成矿模式

3.1 焦家金矿床成矿时代分析

对于胶东金矿成矿时代问题,前人做了大量的基础工作,测试了大量的各种同位素数据。前人^[3]收集了胶东各主要金矿成矿年龄,分析认为,除个别学者坚持早前寒武纪成矿外,现在基本共识于燕山期成矿。一些学者^[4]主张存在早侏罗世和早白垩世两次重要成矿事件,一些学者^[5]主张存在 3 次成矿事件,但多数学者^[3]主张成矿发生在 130~110Ma 之间。前人^[6]测定了流体包裹体 Rb-Sr 年龄及 Sr 值表明,胶东金矿主要成矿期为燕山晚期。

关于焦家金矿成矿时代,如表 4 所示,前人所测数据很多,但基本符合燕山期(110~125 Ma)成矿的共识。晚期矿化水白云母的铷锶年龄仅为 $88.1 \pm 0.1\text{Ma}$,

表4 焦家金矿同位素年龄和铷初始值

矿床/带	测试对象	方法	年龄/Ma	数据出处
玲珑	黄铁矿	铷锶	123 ± 4, 123 ± 3, 122 ± 11	Yang, Zhou, 2001
玲珑	98JQ07 黄铁矿	铷锶	121.6 ± 8.1; Sri = 0.7094 ± 19	Yang, Zhou, 2000
玲珑	98LL06 矿石和黄铁矿	铷锶	121.8 ± 3.5; Sri = 0.7102 ± 1	Yang, Zhou, 2000
玲珑	98DK07 矿石和黄铁矿	铷锶	120 ± 29; Sri = 0.7113 ± 48	Yang, Zhou, 2000
玲珑	5 件 JQ 矿石样品	铷锶	110.6 ± 2.4; Sri = 0.7121 ± 2	Yang, Zhou 2000
玲珑	108 脉绢英岩之绢云母	铷锶	101 ± 4; Sri = 0.7120 ± 2	张振海等, 1994
玲珑	绿泥石等和绢英岩	铷锶	111.4 ± 2.8; Sri = 0.7121 ± 1	张振海等, 1994
玲珑	石英包裹体	铷锶	126.6 ± 7.5; Sri = 0.7111 ± 2	李华芹等, 1993
玲珑	蚀变岩	铷锶	112 ± 2	骆万成, 伍勤生, 1987
玲珑	蚀变岩	钾氩	111 ± 2	骆万成, 伍勤生, 1987
焦家	石英包裹体	铷锶	134 ± 8; Sri = 0.7104 ± 1	李华芹等, 1993
焦家	晚期矿化白云母	铷锶	88.1 ± 0.1; Sri = 0.7116 ± 2	骆万成, 伍勤生, 1987
焦家/新城	蚀变岩白云母	铷锶	105 ± 7	骆万成, 伍勤生, 1987
焦家/新城	蚀变岩白云母	钾氩	106 ± 2	骆万成, 伍勤生, 1987

这说明焦家金矿可能有两个重要的矿化期。

3.2 焦家金矿成矿物质来源

现代成矿理论中,关于焦家金矿成矿物质来源,分歧较大,前人^[7]总结了胶东玲珑-焦家式金矿矿源岩系(序)列主要地质演化过程,得出直接矿源岩系为交代重熔花岗岩,中间(衍生)矿源岩系为角闪岩相变质岩,初始矿源岩系为海底镁铁质火山沉积岩的结论。

根据笔者对铅同位素研究,铅同位素的 φ 值、 μ 值和 Th/U 等指标也比较稳定(均低于 9.58)。据 B. R. Doe 的资料,认为具低 μ 值(低于 9.58)的铅来自下部地壳或上地幔,这类矿床的形成一般与岩浆活动密切相关,从而证明焦家金矿成因与前寒武基底岩石断裂及重熔岩浆活动有关,而基底岩石具大量深源基性火山物质。据前人^[8]研究,胶东矿集区的形成为强烈壳-幔物质交换的结果。

结合区域构造背景,后碰撞造山作用形成的重熔型玲珑花岗岩中断裂带发育,在对流地幔导致基性岩浆底侵,混染围岩花岗岩,并且含金量高的基性花岗岩与先存的长英质发生交代,导致金在有利的构造部位富集成矿,而长英质物质在矿体外围富集,另有部分同源的基性岩浆形成脉岩。因此,成矿物质以幔源岩浆为主,但也有围岩花岗岩的贡献。

3.3 焦家金矿成矿流体来源

为了确定成矿流体的性质及来源,许多研究者进行过氢氧等同位素分析,得出许多不同的结论。根据笔者对焦家金矿硫同位素地球化学的研究,金矿石具有高 $\delta^{34}\text{S}$ 值(高于斜长角闪岩和中生代花岗岩),推测前寒武系变质岩为成矿作出了贡献。根据本文收集的数据,作图(图4)显示,投影点大多在岩浆水和大气降水一侧,甚至少量变质水,并且成矿阶段晚期的投影点更接近雨水线。一些学者^[9]研

究了典型金矿床后也强调了成矿流体混合来源,比如镁铁质岩浆去气和大气水等。因此,基性岩浆上涌带来的大量热量为岩浆水的产生提供了条件。

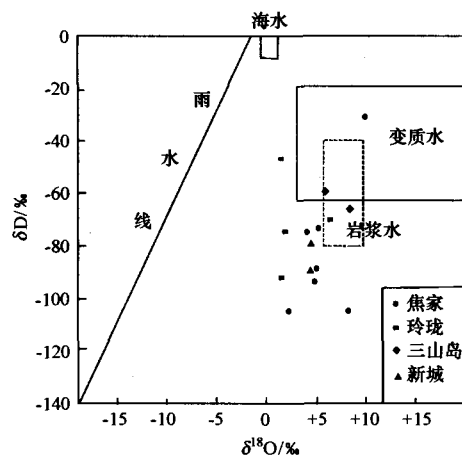


图4 焦家式金矿床氢氧同位素 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图
(据庞绪成, 2005)

综上所述,焦家金矿床成矿流体早期以混合岩化-重熔岩浆水为主,晚期逐渐以大气降水为主,成矿过程中有变质水的加入。

3.4 焦家金矿矿床成因模式

根据前面的研究,综合区域构造背景、成矿物质以及成矿流体等的研究成果,结合胶东金矿相邻区域成矿模式,建立典型金矿——“焦家式”金矿的造山型成矿模式。

3.4.1 三叠纪末期(~200 Ma)

华南板块向华北板块俯冲而碰撞造山^[10],形成了大别-苏鲁碰撞造山带、高压-超高压变质带。郯庐断裂由转换断层转化为平移断层。同时碰撞造成了岩石圈开始减薄,壳幔相互作用,由此导致了此后多期大规模的岩浆活动。

3.4.2 三叠纪末期—侏罗纪早期(200~160 Ma)

华南板块向华北板块的后碰撞挤压作用引起华北克拉通南缘地壳增厚,而此前形成的高压?超高压变质带被挤到深部与地壳结晶基底发生重熔,最后形成玲珑花岗岩。

3.4.3 侏罗纪晚期—早白垩纪早期(160~135 Ma)

华南板块向华北板块的后碰撞挤压作用的持续,以及库拉—太平洋板块开始向古中国大陆斜向俯冲,导致了郯庐断裂大弧度的左旋。地幔对流与岩石圈平衡遭到破坏,富集岩石圈地幔楔部分熔融形成的岩浆混合先前的重熔的花岗岩,为后来郭家岭花岗岩闪长岩的形成准备了物源条件。

3.4.4 早白垩纪早期(135~125 Ma)

郯庐断裂由挤压转变为右旋拉伸,导致上地幔物质上涌,在郯庐断裂中部出现地幔物质上涌而成的上隆。岩石圈快速减薄,深部下地壳重熔岩浆与幔源岩浆混合。郯庐断裂又一次左旋剪切,使先前壳幔混合源的岩浆上涌形成了郭家岭花岗岩,并且郭家岭与胶东群接触带发生韧性剪切,形成了包括焦家断裂带在内的三条走向 NNE 的近平行的断裂带,为成矿流涕运移和沉淀提供条件。

3.4.5 早白垩纪中晚期(125~80 Ma)

郯庐断裂全面右旋拉伸,地幔持续上隆,出现胶莱盆地等断陷盆地,为含矿热液运移和沉淀提供通道和场所。幔隆上升作用导致地壳拉伸,并且使深部物质上涌,产生去 K、Si 和挥发份等。脱气后的岩浆上升过程分离结晶为脉岩;脱气形成的岩浆流体与大气降水混合,发生交换反应,在断裂等有利的部位大规模成矿。

4 结论

1) 查明了矿床经历了成岩期、蚀变期、成矿期和表生期4个时期;成矿期包括热液成矿和表生成矿两期共5个成矿阶段:黄铁矿—石英阶段,金—石英—黄铁矿阶段,金—石英—多金属硫化物阶段和

碳酸盐阶段。石英—黄铁矿阶段和金—石英—多金属硫化物阶段是主要的成矿阶段。

2) 通过焦家金矿同位素年龄和锆初始值分析,得出焦家金矿符合燕山期(110~125 Ma)成矿的共识。

3) 通过对常量元素和稳定同位素分析,认为焦家金矿床成矿物质以幔源岩浆为主,但也有围岩花岗岩的贡献;成矿流体早期以混合岩化—重熔岩浆水为主,晚期逐渐以大气降水为主,成矿过程中有变质水的加入。

4) 通过对焦家金矿成矿过程的分析,建立了焦家金矿造山型成矿模式。华北板块与华南板块碰撞造,引起岩石圈减薄,导致大规模岩浆活动;在构造发生转折时,沂沭断裂右旋,地幔上隆,导致地壳拉伸,深部物质上涌,在有利的部位大规模成矿。

[参考文献]

- [1] 吴磊伯,沈淑敏. 经向构造体系的分布规律及其地质力学意义[M]. 地质力学文集(6)[C], 1982.
- [2] 宋明春,王沛成. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社, 2003.
- [3] 陈衍景, Franco PIRAJNO, 赖勇, 等. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 907-922.
- [4] 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东金矿同位素年龄的厘定[M]. 北京:地震出版社, 1994.
- [5] Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H et al. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas (Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits. Sci. China Ser. D, 46: 838-851.
- [6] 徐九华, 谢玉玲, 申世亮. 小秦岭与胶东金矿床的成矿流体特征对比[J]. 矿床地质, 1997, 16(2): 151-162.
- [7] 吕古贤. 构造岩浆活化区金矿矿源岩系的矿化趋势度概念与研究性填图方法——以胶东玲珑—焦家式金矿为例[J]. 地球学报, 2002, 23(2): 107-144.
- [8] 孙景贵. 胶东地区地质体的含金性与金成矿关系[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(2): 43-54.
- [9] Yang J H, Zhou Y H. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotope systematics of pyrite: implications for the age and genesis of lode gold deposits[J]. Geology, 2001, 29: 711-714.
- [10] 刘本培, 全秋琦, 冯庆来, 等. 地史学教程[M]. 北京:地质出版社, 1996.

GENESIS AND METALLOGENIC MODEL OF JIAOJIA GOLD DEPOSIT, SHANDONG

ZHAO Peng-yun, GU Xue-xiang, DENG Xiao-hua
(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: Jiaodong gold ore concentration area is one of the largest gold ore concentrating regions in China, and the Jiaojia-type gold deposits were named just at the Jiaojia gold mine. So, taking focus on the Jiaojia gold mine will make a contribution to recognize genesis of the same deposits in the Jiaodong area. The study is carried through from ore geology, geochemical feature, rare earth element geochemistry, isotope geochemistry, ore-forming fluids and metallogenetic geotectonic settings. At last, mineralization model of the Jiaojia gold mine is discussed. The collision orogeny between South China plate and North China plate leads to tectonic transformation, which brought about crustal extension, mantle material upwelling, and large scale mineralization at advantageous position.

Key words: ore-forming materials sources, ore-forming fluid, metallogenetic model, Jiaojia gold mine, collision orogenic belt