

胶东焦家断裂带与金矿的成生关系

徐 刚 郑达兴

(中国地质科学院地质力学研究所)

温长顺

(中国地质大学,北京)

摘 要 文中着重阐述了控矿断裂活动与焦家金矿 II、I、III 号矿体之间的成生关系。指出:焦家金矿 II 号矿体与控矿断裂第一期活动有关,I 号矿体与第二期活动有关,III 号矿体与第三期活动有关。控矿断裂第一、二期活动显压扭性,第三期活动则显张扭性特征,I、II 号矿体的矿化类型为破碎蚀变岩型,III 号矿体为多金属硫化物脉型。

关键词 焦家金矿 控矿断裂 成生关系

1 区域地质构造背景

胶东的莱州位于胶东的西北部,是我国重要的黄金产地之一。大地构造位置属于新华夏系第二隆起带的胶北隆起区,西邻著名的郯庐大断裂

焦家金矿位于莱州市境内的焦家村附近,产于焦家 NNE 向断裂带的焦家主断裂之中,赋存在玲珑花岗岩与胶东群斜长角闪岩接触带处(图 1)。焦家金矿的 II、I、III 号矿体受韧性剪切带不同部位发育的不同期次脆性断裂的控制。矿床范围内的断裂构造、蚀变作用、矿化作用及矿体的赋存均受焦家主断裂的控制。矿体的生成与控矿断裂演化有着密切的关系。

根据焦家主断裂内岩石的破碎程度、蚀变类型,自主断面往东可划分 4 个带,即黄铁绢英碎裂岩带、钾化绢英岩化碎裂岩带、钾化花岗碎裂岩带、钾化多金属硫化物初碎裂岩带(图 2)

2 蚀变类型与成矿条件

焦家金矿 I 号矿体赋存在黄铁绢英碎裂岩带中;II 号矿体在钾化绢英岩化碎裂岩带中;III 号矿体处在钾化花岗岩的初碎裂岩带的裂隙中(图 2)。由于它们各自产出的构造部位或成矿热液期次的不同,各矿体显示不同的矿化蚀变类型和成矿条件。

2.1 矿化蚀变类型

根据焦家金矿矿化蚀变带的叠加关系,大致确定本区矿化蚀变可分为 4 期,其先后顺序如下:

钾化(红化)→绢英岩化(II 号矿体矿化)→黄铁绢英岩化(I 号矿体矿化)→多金属硫化物

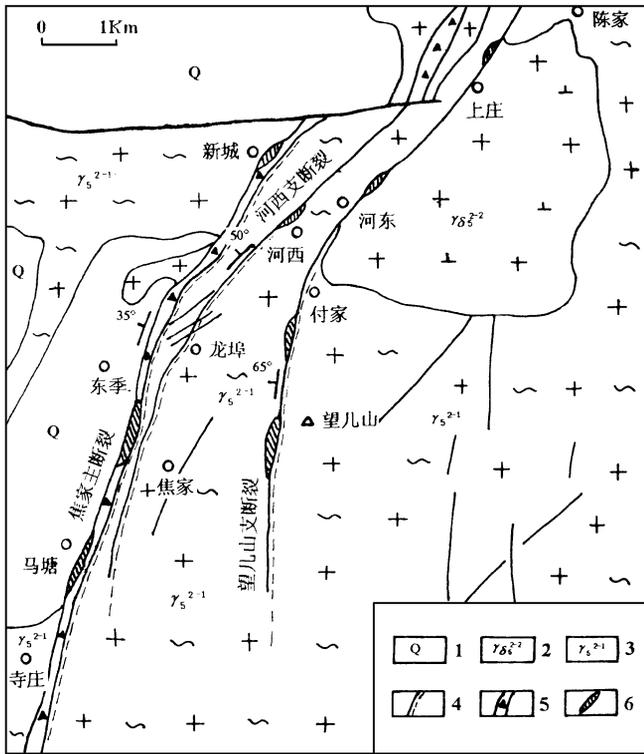


图 1 焦家附近地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Jiaojia area

1. 第四系; 2. 郭家岭花岗闪长岩; 3. 玲珑片麻状花岗岩; 4. 断裂及韧性剪切带; 5. 破碎带; 6. 金矿体

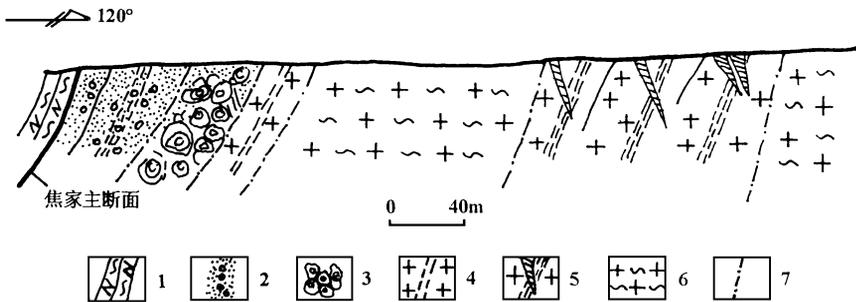


图 2 焦家主断裂蚀变分带剖面图

Fig. 2 Section map showing alteration zonation of the Jiaojia major fault

1. 胶东群; 2. 黄铁绢英碎裂岩带; 3. 钾化绢英岩化碎裂岩带; 4. 钾化花岗碎裂岩带; 5. 钾化多金属硫化物初碎裂岩带; 6. 片麻状花岗岩; 7. 蚀变分带界线

矿化 (III号矿体矿化)

2.2 成矿溶液物理化学参数

笔者对矿物包裹体进行测试分析,进而研究各矿体成矿热液的温压条件及盐度等特征。

表 1 焦家金矿不同矿化阶段黄铁矿中包裹体测定结果

Table 1 Measurement results of inclusions in pyrites of various mineralization stages in the Jiaojia gold deposit

矿化阶段及矿体编号	测定矿物	爆裂温度 (°C)	盐度 (wt%)	压力 (MPa)	pH值	平均 K ⁺ /Na ⁺	平均 Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	平均 F ⁻ /Cl ⁻	CO ₂ (wt%)
绢英岩化阶段 (II)	黄铁矿	266	5.6	106.8	4.39	1.937	7.400	0.382	8.8
黄铁绢英岩化阶段 (I)	黄铁矿	256-320	3.8	78.5	5.13	0.642	9.800	0.251	10.8
多金属硫化物阶段 (III)	黄铁矿	180	1-14.5	23.7	4.74	0.757	2.314	0.553	6.2

据徐九华,焦家金矿等资料编制

根据表 1 中提供的成矿温度、压力、盐度等数据可以划分出三个不同的热液期次。早期矿化温度为 266°C、压力 106.8MPa、盐度 5.6wt%；中期矿化温度为 256-320°C、压力 78.5MPa、盐度 3.8wt%；晚期矿化温度为 180°C、压力 23.7MPa、盐度 1-14.5wt%。由此可见,焦家金矿 II、I、III 号矿体分别与不同热液矿化期相对应。

2.3 矿化蚀变带岩石化学特征

由表 2 看出:当正常花岗岩蚀变为绢英岩化花岗岩时,带出组分主要是 Al、Na、Si、Mg、Fe²⁺,带入组分有 Fe³⁺、Ca、K、OH⁻;而当正常花岗岩蚀变为黄铁绢英岩时,带出组分为 Na、Al、Ca、Mg、Fe²⁺,带入组分为 OH⁻、Si、K、Fe³⁺,二者岩石化学成分的差异表现在绢英岩化花岗岩带 Si 为带出组分,Ca 为带入组分,有大量的 OH⁻ 带入;而黄铁绢英岩带 Si 转为带入组分,而 Ca 为带出组分。

表 2 矿化蚀变带巴尔特法晶胞离子数

Table 2 Amount of cations in lattice cell determined by Barlts method in mineralize alteration zonation

蚀变分带	Si ⁴⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺	OH ⁻
1. 正常花岗岩	599	160.6	10.7	22.0	75.0	41.0	4.0	14.9	30.0
2. 绢英岩化花岗岩	596	119.0	8.8	22.8	23.5	50.7	8.6	10.7	101.6
3. 黄铁绢英岩	625	128.9	4.5	14.7	21.9	54.9	8.4	11.0	82.0

据焦家金矿等资料综合,表中数据为单位晶胞离子数

2.4 不同矿体矿物成分的差异

矿体中矿物成分反映该矿体的矿质来源,不同的矿物组合反映不同的成矿期或构造活动期。

笔者借助显微镜和扫描电镜对焦家金矿 I、II、III 号矿体矿物成分进行了定量分析。现已查明 I、II、III 号矿体的矿物成分为: I 号矿体为黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、银金矿、石英、绢云母、斜长石等,属于中温热液矿物组合; II 号矿体为绢云母、石英、黄铁矿、银金矿等,也为中温热液矿物组合; III 号矿体为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、碲银矿、锆英石、银金矿、自然金、自然铋、重晶石、方解石等,属中低温热液矿物组合。

2.5 矿石结构构造

矿石的结构构造,在很大程度上反映成矿时的构造环境,也就是说,不同的结构构造类型可以间接显示不同的构造发育特征。

焦家金矿 I 号矿体的矿石为浸染状构造、细脉浸染状构造等; II 号矿体为斑杂状构造、细脉浸染状构造、角砾状构造、脉状构造等,而 III 号矿体则以脉状构造为主。

I、II号矿体矿石结构为自形程度不等的晶粒结构,包含结构、交代残余结构、网状结构和压碎结构等;而III号矿体则为自形程度较高的晶粒结构等。

2.6 矿体中黄铁矿和金粒的赋存状态

黄铁矿和金粒的赋存状态可以反映成矿时的地质构造环境及成矿热液的期次。

本区不同矿体中黄铁矿和金粒的赋存状态有明显的差异,其中I号矿体中的黄铁矿颗粒较小,呈稀疏或稠密浸染状,金粒呈浸染状存在于脉石矿物或较大颗粒的黄铁矿中;II号矿体黄铁矿较少,一部分呈浸染状,另一部分则以集合体的形式沿裂隙呈脉状分布,金粒主要沿着黄铁矿和脉石矿物的裂隙嵌布;III号矿体中的黄铁矿颗粒较大且大部分呈脉状分布,金粒多呈粒状或脉状嵌布在黄铁矿的裂隙或间隙中,部分金粒成群地嵌布在近黄铁矿的脉石矿物中。

2.7 矿体稀土元素组成特征

一般来说,同一构造蚀变带中稀土配分应有相同的特点。焦家金矿I、II、III号矿体及钾化花岗岩的全岩稀土分析结果表明,I、II、III号矿体及钾化花岗岩体总的来说都富轻稀土,但它们的 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 比值却有较大的差异(表3),也就是说,I、II、III号矿体的稀土元素各自分异程度是不同的。这说明各矿体中的岩石所处的构造位置及其物理化学条件存在着差异。

表3 焦家金矿矿体及钾化花岗岩全岩稀土分析数据($\times 10^{-6}$)

Table 3 Σ REE content in K-mineralization granites and Jiaojia gold orebodies

稀土元素	Σ REE	Σ Ce	Σ Y	$\Sigma Ce/\Sigma Y$
钾化花岗岩	161.167	150.705	10.462	14.405
I号矿体	66.562	51.775	14.787	3.501
II号矿体	73.717	66.435	7.282	9.123
III号矿体	82.606	71.841	10.765	6.674

据吕古贤等资料

总之,根据不同矿体的上述差异,充分说明焦家金矿II、I、III号矿体应为不同成矿期或不同成矿阶段的产物。

根据成矿时的物理化学条件结合野外地质观察资料,作者将本区成矿作用划分2个成矿期,第一成矿期为破碎蚀变岩成矿期,包括两个成矿阶段,即绢英岩化成矿阶段和黄铁绢英岩成矿阶段,分别成生II号和I号矿体;第二成矿期为多金属硫化物成矿期,成生III号矿体。

3 断裂构造与矿化的关系

断裂构造与矿化的关系,是指断裂构造活动及其演化对矿体的空间产出状态、分布规律、矿化类型、矿化形式、矿石的结构构造、矿物共生组合乃至蚀变类型之间的综合制约关系,现依据掌握的资料分别阐述如下:

3.1 断裂构造对金矿产出状态和空间分布的控制作用

目前已被揭露或被探知的矿体或矿化体全部发育在NE-NNE向的压扭性断裂带或压性断裂带中。从一定意义上说,上述断裂的构造型式,也就是矿体或矿化体空间展布的类型,但这并不等于说断裂系统中每一处都有达到工业品位的矿体产出。从矿化角度来看,可以说,矿区上述断裂构造系统都有金元素的相对聚集。

就单一矿体而言,无论其产出形态、规模,完全取决于控矿断裂的发育程度。II、I、III号矿

体在其各自区段的产出和矿化强度与控制它们的断裂的发育是非常协调的。例如II、I号矿体产于破碎带较宽、缓倾、延深较大且与主断面产状相一致的破碎蚀变带中；III号矿体一般赋存在与主断面走向一致，且倾向相反的陡倾的裂隙中。

总之，断裂系统的发育对焦家金矿的矿体定位起着严格的制约作用，其中II、I号破碎蚀变岩型矿化多发育在NE走向、向NW缓倾的蚀变带中；I号矿体呈层状，向SW侧伏，II号矿体呈透镜状；III号多金属硫化物矿化发育于NE走向、向SE陡倾的裂隙中，矿体呈脉状。

3.2 断裂演化与矿化类型

如前所述，焦家主断裂发育两种矿化类型金矿床，即破碎蚀变岩型金矿和多金属硫化物脉型金矿。控矿断裂的力学性质曾发生过由压扭性向张扭性的转变过程，这种构造成矿环境的转化表现在以下方面：

① 主断面附近的破碎蚀变岩带常呈构造透镜体或缩颈现象，并有破碎的串珠状砾石和杆状砾石等，显示压扭性构造的特征。

② 显微镜下观察，破碎蚀变岩带内可见石英具有强的波状消光，长石扭折及黄铁矿碎裂等，显示压扭性特征。

③ 破碎蚀变带及其下盘常叠加多金属硫化物脉。一般情况下，矿脉中可见明显的矿化分带现象。以黄铁矿为例，矿脉的边部为自形、半自形中粒黄铁矿，向中心渐变为粗粒自形黄铁矿，并且可见与其共生的方解石脉。这表明，含金多金属硫化物脉是启张的环境下形成的。

由上所述不难看出，焦家金矿区两种主要的矿化类型的产生，与构造演化不同阶段所提供的不同成矿构造条件密切相关。

4 断裂活动与金矿体的成生关系

焦家主断裂与矿化有关的脆性断裂活动有3期，叠加在早期韧性变形带不同部位上，形成了焦家金矿区II、I、III号矿体；控矿断裂由早到晚由压扭性向张扭性转化。

控矿断裂第一期活动在II和I号矿体表现最为清楚，形成走向NE、倾向NW、倾角较缓的右行压扭性的破碎带。其中II号矿体所处位置断裂活动强烈，韧-脆性阶段生成的一些大的杆状构造在脆性环境下发生初步破碎，杆的周围具擦痕，在此基础上发生绢英岩化，金矿化类型为破碎蚀变岩型，形成II号矿体。蚀变矿物有石英、绢云母等，黄铁矿较少。矿体中微裂隙发育，多呈不规则状，或相互平行或呈共轭产出，微裂隙面上见有同期绢云母产出。

控矿断裂第二期活动在I号矿体所处位置表现为在原断裂破碎带的基础上，再次活动形成NE走向、NW倾、倾角较缓的左行压扭性破碎带，将第一期破碎的杆状构造再破碎形成串珠状砾石并保留有早期绢英岩化花岗岩团块；在此基础上，叠加黄铁绢英岩化，金矿化发生在黄铁绢英岩之中。该期矿化类型为破碎蚀变岩型，以I号矿体为代表。这期断裂活动为焦家主

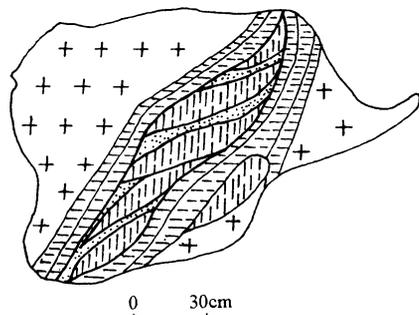


图 3 多期构造透镜体素描图

Fig. 3 Sketch map of many times tectonics lenses
1. 钾化绢英岩化花岗岩；2. 破碎的钾化绢英岩化花岗岩；3. 小的构造透镜体；4. 黄铁绢英岩矿化

断裂主要的成矿阶段。蚀变矿物有黄铁矿、绢云母、石英等。在I号矿体与II号矿体之间可见有多期构造透镜体(图3),早期钾化绢英岩化透镜体遭后期破碎形成较小的透镜体,透镜体边缘具黄铁绢英岩化蚀变。焦家金矿-190m中段钾化绢英岩化带中的小型脆性断裂显压扭性,断裂内发育有黄铁绢英岩矿化。

控矿断裂第三期构造活动在III号矿体所处部位最显著,II号矿体所处部位也有显示。该期活动显示受NW-SE挤压应力作用形成的挤压带和一组X共轭裂面,而后又由于受反扭力偶作用而形成一系列NE走向,倾向SE,倾角较陡的一组短粗张扭性裂面占主导地位的裂隙。在此基础上发生多金属硫化物矿化,金矿化类型为多金属硫化物脉型,形成III号矿体。这期矿化蚀变矿物为黄铁矿、石英、方解石等。含金多金属硫化物矿脉多充填在钾化花岗岩裂隙中,金属矿物均呈中粒自形半自形集合体存在于矿脉中。此外,II号矿体钾化绢英岩化带也可见到多金属硫化物矿脉。

由此我们认为,焦家金矿的断裂构造的活动与矿化富集是密切相关的,金矿体的形成为不同期次构造活动导致的不同期次矿化作用叠加的结果。

作者徐刚在该项研究中曾得到中国地质科学院地质力学研究所吕古贤研究员的热情支持和悉心指导,在此致以衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 李四光.地质力学概论.北京:科学出版社,1973
- 2 刘瑞.显微构造地质学.北京:北京大学出版社,1988
- 3 吕古贤,孔庆存.胶东玲珑焦家式金矿地质.北京:科学出版社,1993
- 4 卢作祥,等.胶东焦家金矿田断裂控矿特征及矿化富集.中国金矿主要类型区域成矿条件文集,(5.胶东地区),北京:地质出版社,1988,85-118
- 5 Rasmay J.G. The techniques of modern structural geology. Academic press. 1983

RELATION BETWEEN THE FAULTING AND GOLD MINERALIZATION IN THE JIAOJIA GOLD DEPOSIT, EASTERN SHANDONG PROVINCE

Xu Gang Zheng Daxing
(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Wen Changshun
(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract The gold ores were found to be distributed along the faults occurring in the Jiaojia goldfield, Eastern Shandong. The faults had undergone at least 3 stages of activity, the first two being characterized by compresso-shearing, the third by tenso-shearing. Each individual of the ores can be correlated to one of the 3 stages.

Key words Jiaojia gold deposit, fault control of ores

第 一 作 者 简 介

徐刚,男,1966年生,硕士,主要从事矿田构造、区域地质、显微构造研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081