

## 胶东焦家金矿床钾长石成因及成矿意义

覃祚焕,魏超,梁文飞,张良

(中国地质大学,地球科学与资源学院,北京 100083)

**摘要:**焦家金矿属于蚀变岩型金矿,围岩蚀变发育,是我国储量最大的金矿床之一。该文对蚀变带中的钾长石的赋存状态、化学成分进行了分析研究,并与未蚀变的玲珑岩体中的钾长石进行对比。认为焦家金矿床主要存在三种成因类型的钾长石,即原生钾长石(岩浆成因)、高温热液钾长石、低温热液钾长石。结合前人的研究成果,探讨了热液钾长石的形成与成矿意义。

**关键词:**围岩蚀变;热液钾长石;成矿意义;焦家金矿;胶东地区

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

焦家金矿产于山东省著名的招-掖金矿带内,其大地构造单元属于华北地台胶辽台凸鲁东地盾的西缘;基底为前寒武纪变质岩系。矿床围岩普遍发生了蚀变,其中红化(微细粒赤铁矿浸染长石、石英等矿物)和钾化(钾长石化、绢云母化)是两种重要的围岩蚀变<sup>[1]</sup>。红化在脆性破裂集中的地方表现明显(断裂带中有利于铁的富集与氧化)。钾化中的钾长石化则较难确定,因为作为金矿围岩的花岗岩本身钾长石就很发育,因此很难确定在金矿化蚀变带中的钾长石是原花岗岩中的钾长石还是金矿化热液期的钾长石。目前对该矿床的研究主要集中在找矿模型预测<sup>[2-5]</sup>、成矿流体特征<sup>[6]</sup>及构造演化<sup>[7-9]</sup>、宏观蚀变分带<sup>[10,11]</sup>等方面,对矿体及围岩中钾长石的成因类型及成矿意义缺少必要的讨论。该文在前人研究基础上,着重于钾长石化过程中钾长石的显微镜下结构及化学成分特征,并探讨了钾化阶段与成矿有关流体的性质及演化特征。

## 1 矿床地质特征

焦家金矿受控于黄县-掖弧形断裂中段的焦家断裂(图1)。该断裂长12 km,宽100~300 m,走向NE 10°~40°,倾向NW,倾角20°~45°,呈开阔的舒缓波状。矿体赋存在断裂下盘破碎蚀变的玲珑花岗岩中。

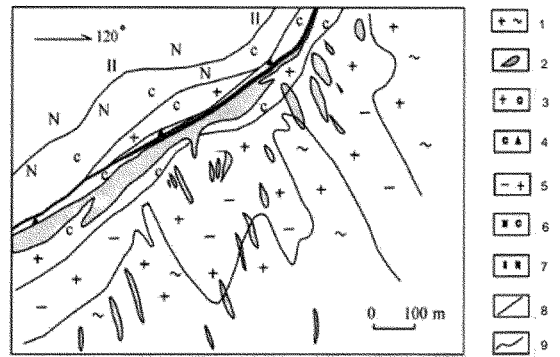


图1 焦家金矿床112勘探线剖面图

(据山东省地质六队资料修编)

1—黑云母花岗岩;2—矿体;3—黄铁绢英岩化花岗岩;4—黄铁绢英岩;5—钾化红化花岗岩;6—绢英岩化斜长角闪岩;7—斜长角闪岩;8—焦家主断裂;9—岩性界线

矿床的主要地质特点是构造岩的围岩蚀变异常强烈。主要蚀变类型有钾长石化、硅化、绢英岩化、黄铁矿化、碳酸盐化及绿泥石化。蚀变依据距主断层的远近及强弱划分为4个带:以黄铁绢英岩为中心,向两侧依次为黄铁绢英岩带、黄铁绢英岩化花岗岩碎裂岩带、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。

## 2 样品及分析方法

研究以钾化红化花岗岩、黄铁绢英岩化花岗质

收稿日期:2013-11-01;修订日期:2014-03-10;编辑:曹丽丽

基金项目:国家大学生创新性实验计划项目

作者简介:覃祚焕(1989—),男,广西藤县人,本科在读,地质学专业;E-mail:1530656696@qq.com。

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 花岗岩碎裂岩带	黄铁绢英岩化 花岗岩带	钾化红化 花岗岩带
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	显微鳞片花岗岩变晶结构、变余糜棱结构	变余碎裂结构	变余碎裂结构 碎斑结构	变余碎裂花岗岩结构
构造	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

碎裂岩为主要对象。样品均采自-190~-230 m中段。挑选有代表性的样品送廊坊市地科勘探技术服务有限公司磨制0.03 mm的光薄片,薄片镜下观察,在中国地质大学(北京)开放实验室 Leica - DM4500P 高级偏光显微镜下完成。通过镜下观察初步区分蚀变岩中的原生钾长石、高温热液钾长石、低温热液钾长石,对其分别进行电子探针分析。电子探针实验在中国地质大学(北京)电子探针实验室完成,仪器型号 EPMA - 1600,加速电压 15 KV,电流 20 nA,束斑为 5 μm。

### 3 分析结果

#### 3.1 显微镜下特征

原生钾长石:中粗粒,单偏光下呈灰色,正低突起,灰白色干涉色,与热液钾长石镜下特征极为相似。这种钾长石是原花岗岩中的钾长石,是在岩浆结晶过程中形成。蚀变带中的原生花岗岩多数已蚀变为绢云母,可见钾长石假象。

高温热液钾长石:灰色,粗粒板状,灰白色干涉色;可见新生的钾长石交代原花岗岩中的钾长石和斜长石,呈现各种交代残余结构,包括包含结构、港湾结构、岛屿结构、反应边结构等。大多数长石都发生了不同程度的蚀变(图2)。

低温热液钾长石:他形细粒粒状,单偏光下呈灰色,正低突起,正交镜下呈 I 级灰白干涉色,常与石英共生,并且与石英接触边缘较平直,可见卡氏双晶

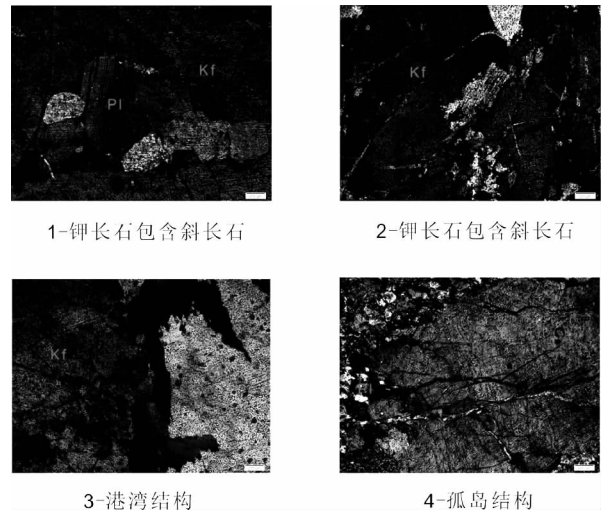


图2 各种交代残余结构

(图3)。此类钾长石表面干净,较少发生绢云母化蚀变。

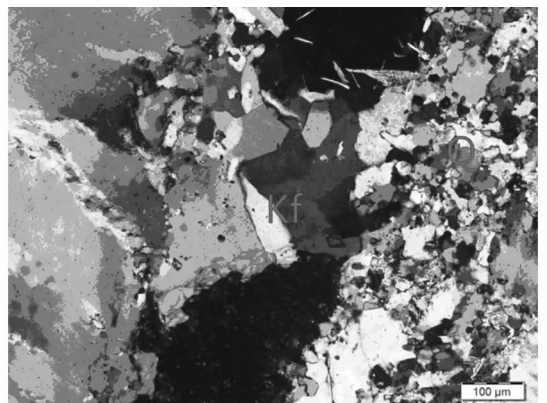


图3 低温热液钾长石与石英共生

### 3.2 化学成分特征

对钾化红化花岗岩、片麻状黑云母花岗岩、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩中的高温热液钾长石、原生钾长石、低温热液钾长石进行电子探针分析。测试样品共6件,其中高温热液钾长石测点3个,原生钾长石测点2个,低温热液钾长石测点4个,结果分别见表2、表3、表4。

**表2 焦家金矿高温热液钾长石化学成分  
电子探针分析结果 w(B)/10<sup>-2</sup>**

序号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	NiO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总量
1	64.02	0.38	18.01	0.13	0.20	0.12	1.09	15.46	99.47
2	65.17	0.33	18.35	0.04	0.01	0.15	0.93	13.45	98.42
3	65.34	0.31	17.10	0.09	0.04	0.00	0.27	16.98	99.13
结构式 1. (K <sub>0.92</sub> Na <sub>0.10</sub> Mg <sub>0.01</sub> Ni <sub>0.01</sub> ) <sub>1.04</sub> [(Al <sub>0.99</sub> Si <sub>2.98</sub> Ti <sub>0.01</sub> ) <sub>3.98</sub> O <sub>8</sub> ]									
2. (K <sub>0.79</sub> Na <sub>0.08</sub> Mg <sub>0.01</sub> ) <sub>0.88</sub> [(Al <sub>1.00</sub> Si <sub>3.01</sub> Ti <sub>0.01</sub> ) <sub>4.01</sub> O <sub>8</sub> ]									
3. (K <sub>0.95</sub> Na <sub>0.04</sub> ) <sub>0.98</sub> [(Al <sub>0.94</sub> Si <sub>3.04</sub> ) <sub>3.98</sub> O <sub>8</sub> ]									

中国地质大学(北京)电子探针室分析(下同)

**表3 玲珑岩体中未蚀变的钾长石化学成分  
电子探针分析结果 w(B)/10<sup>-2</sup>**

序号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总量	Ab	Or
1	66.01	0.08	19.52	0.35	0	0.13	0.25	1.99	11.57	99.9	14.7	85.3
2	66.94	0.05	19.32	0.45	0.07	0.16	0.22	2.13	10.71	100.1	16.6	83.4

**表4 焦家金矿低温热液钾长石化学成分  
电子探针分析结果 w(B)/10<sup>-2</sup>**

序号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	NiO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总量
1	65.68	0.14	17.43	0.09	0.00	0.07	0.28	0.35	16.43	99.73
2	66.92	0.05	17.31	0.13	0.03	0.00	0.11	0.32	14.93	100.12
3	66.22	0.14	17.40	0.09	0.00	0.07	0.28	0.32	15.03	99.54
4	65.89	0.09	17.38	0.00	0.06	0.09	0.09	0.60	16.54	100.63
结构式 1. (K <sub>0.97</sub> Na <sub>0.03</sub> ) <sub>1.00</sub> [(Al <sub>0.95</sub> Si <sub>3.03</sub> ) <sub>3.98</sub> O <sub>8</sub> ]										
2. (K <sub>0.87</sub> Na <sub>0.09</sub> Fe <sub>0.01</sub> ) <sub>0.91</sub> [(Al <sub>0.93</sub> Si <sub>3.06</sub> ) <sub>3.99</sub> O <sub>8</sub> ]										
3. (K <sub>0.88</sub> Na <sub>0.03</sub> Ni <sub>0.01</sub> ) <sub>0.92</sub> [(Al <sub>0.94</sub> Si <sub>3.05</sub> ) <sub>3.99</sub> O <sub>8</sub> ]										
4. (K <sub>0.97</sub> Na <sub>0.05</sub> ) <sub>1.02</sub> [(Al <sub>0.94</sub> Si <sub>3.03</sub> ) <sub>3.97</sub> O <sub>8</sub> ]										

表2反映了高温热液钾长石与原生钾长石的TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、NiO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、MgO组分质量百分含量变化范围有着显著差异。高温热液钾长石中K<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub>、NiO组分含量明显高于原生钾长石中对应组分,原生钾长石中含一定量的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MgO、CaO、Na<sub>2</sub>O组分,而高温热液钾长石较少含有或几乎不含该组分(表5)。

**表5 焦家顶金矿原生钾长石与  
高温热液钾长石主要成分对比**

钾长石类型	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO
原生钾长石	0.05 ~ 0.08	19.32 ~ 19.52	0.35 ~ 0.45	10.71 ~ 11.57	1.99 ~ 2.13	0.13 ~ 0.16
高温热液钾长石	0.31 ~ 0.38	17.10 ~ 18.35	< 0.1	13.45 ~ 16.98	0.27 ~ 1.09	0 ~ 0.15

表3反映了高温热液钾长石相对于原生钾长石来说富K、Ti、Ni,贫Al、Fe、Mg、Ca、Na。表明热液蚀变流体富K、Ti、Ni,在钾长石化-岩反应过程中原岩Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O、FeO、MgO组分被带出,FeO、MgO部分与Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作用形成绿泥石,部分与流体中的CO<sub>2</sub>结合形成碳酸盐。与此同时,富K流体还作用于原生斜长石、黑云母使其蚀变形成绢云母、绿泥石。

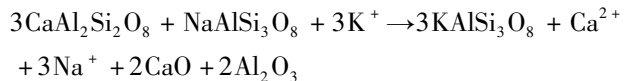
成矿期形成的低温热液钾长石成分见表4,其组成较简单,几乎不含钙长石分子,钠长石分子含量多数小于6%,一般为3%,而且低温热液钾长石的成分与未蚀变的玲珑岩体即片麻状黑云母花岗岩中的钾长石成分Or<sub>86.9</sub>Ab<sub>13.0</sub><sup>[12]</sup>相差较大,表现为钠长石含量较低。说明了钾长石化过程中,发生了K<sup>+</sup>的代入,Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>带出的作用。

## 4 讨论

### 4.1 钾长石化流体性质的探讨

焦家金矿中较早出现的围岩蚀变类型是钾长石化。钾长石蚀变类型和强度与流体性质关系密切<sup>[13-17]</sup>。王玉荣等<sup>[18]</sup>对钾交代成矿模拟实验显示,碱性流体对斜长石蚀变形成钾长石有利。交代过程中K<sup>+</sup>置换斜长石中Ca<sup>2+</sup>和Na<sup>+</sup>。

在碱性条件下钾交代斜长石反应式如下:



由钾化蚀变岩在矿区大面积分布,并结合前述高温热液钾长石的电子探针结果,可以得出焦家金矿床早期的热液性质为富K<sup>+</sup>、贫Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>流体。这与前人对该区流体包裹体<sup>[19,20]</sup>、蚀变岩整体元素变化<sup>[10,11]</sup>的分析结果是一致的。

### 4.2 高温热液钾长石成因及成矿意义

高温热液钾长石形成于早期的钾长石化阶段,颗粒粒径相对较大,可见各种交代残余结构,主要分布在钾化红化花岗岩带中。钾长石化是高温碱性条件下形成的<sup>[21]</sup>,而高温热液钾长石就是在此阶段形成的,因此可以得出高温热液钾长石也是在高温碱性条件下(这也解释了高温热液钾长石颗粒粒径相对较大的原因)形成的,通过新生的钾长石交代原花岗岩中的钾长石和斜长石来实现,其实质是富钾流体中的K<sup>+</sup>交代长石中Ca<sup>2+</sup>和Na<sup>+</sup>。

钾交代蚀变过程中金活化转移实验研究表明:一般自然金在氧化条件下溶解,还原条件下沉淀;钾长石化过程中 Au 活化,在弱酸或弱碱介质中迁移,经过多次的反应作用,最后到黄铁矿表面稳定下来富集成矿<sup>[22]</sup>。并且前人<sup>[19]</sup>研究表明金元素在钾长石化花岗岩中释出强烈。据此可以认为,在钾长石化阶段,富 K<sup>+</sup> 流体不仅使主要含金源区——胶东变质岩的 Au 活化迁移<sup>[6]</sup>,而且还可能使原花岗岩中 Au 活化迁移,释放出来的 Au<sup>+</sup> 很可能向矿化富集区迁移,成为矿体的部分金来源。

### 4.3 低温热液钾长石成因及成矿意义

此类钾长石形成于成矿期,伴随着绢英岩化而产生。其含量较少,颗粒粒径较小,与石英共生,或呈浸染状分布在斜长石的裂隙中。前人在胶东矿集区的傅家金矿床中也发现了类似的钾长石<sup>[1]</sup>。焦家金矿中的低温热液钾长石是主成矿期温度较低条件下<sup>[20]</sup>,通过热液中的 K<sup>+</sup> 取代了钠长石中的 Na<sup>+</sup> 形成的,其实质是一种钾化。

K<sup>+</sup> 是热液中的配阴离子保持稳定的重要阳离子,当 K<sup>+</sup> 从热液中大量析出时,金的配阴离子的稳定性便遭到破坏,导致金的沉淀<sup>[1]</sup>。因此可以得出,由于在成矿阶段的部分钾长石化,造成热液中的 K<sup>+</sup> 减少,并且由于温度降低<sup>[20]</sup>,致使金元素大量沉淀,形成主要的矿体。这就是此类钾长石所赋存的黄铁绢英岩化花岗岩带控制了焦家金矿床主矿体分布的原因所在(图1)。

## 5 结论

(1)焦家金矿床存在三种成因类型的钾长石:原生钾长石(岩浆成因)、高温热液钾长石、低温热液钾长石。

(2)焦家金矿床早期的引发钾长石化的热液性质为富钾流体,富钾流体使金元素发生活化迁移,为后期的成矿作用奠定了较好的基础。

(3)焦家金矿床的主成矿阶段由于低温热液钾长石的形成以及温度降低等因素的影响,使金元素大量沉淀富集,形成了焦家金矿床的主矿体。

## 参考文献:

[1] 潘玉成. 胶东金矿中浸染状钾长石的发现及其意义[J]. 黄金地质, 1995, 1(3): 76-80.

- [2] 马田生. 灰色 GM(1,1) 模型在山东焦家金矿床深部含矿性预测中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2007, 22(4): 314-320.
- [3] 崔书学. 焦家断裂带南延问题及南延段找矿前景分析[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 7-10.
- [4] 郑小礼, 郑广玉, 高峰, 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.
- [5] 鲍中义, 钮涛, 高书剑, 等. 地质与矿产——焦家金矿床深部矿体地质特征及深部成矿预测[J]. 山东国土资源, 2010, 26(1): 6-10.
- [6] 王鹤年, 汪耀. 山东焦家金矿床的成因探讨[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 250-258.
- [7] 郭涛, 吕古贤, 邓军, 等. 构造应力对元素分配的控制作用——以焦家金矿床为例[J]. 地质力学学报, 2003, 9(2): 183-190.
- [8] 刘恩怀. 焦家金矿构造研究[J]. 黄金地质科技, 1989, (3): 19-26.
- [9] 丁式江, 翟裕生, 邓军. 胶东焦家金矿床有限应变分析及其意义[J]. 地质找矿论丛, 1997, 12(4): 9-16.
- [10] 丁式江, 翟裕生, 邓军, 等. 胶东焦家金矿蚀变岩中元素的质量迁移[J]. 地质与勘探, 2000, 36(4): 28-31.
- [11] 田农. 山东焦家蚀变岩型金矿地质地球化学特征[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1988, (1): 125-137.
- [12] 桑隆康. 玲珑花岗岩及其有关岩石的岩石学研究[D]. 武汉: 武汉地质学院, 1982.
- [13] 陈文明, 盛继福, 钱汉东. 西藏玉龙斑岩铜矿含矿斑岩体钾长石斑晶的有序度及成因探讨[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 1017-1023.
- [14] 邹明亮, 何大芳, 梁永东, 等. 钾交代的热力学计算及其与铀成矿关系讨论[J]. 铀矿地质, 2011, 27(1): 36-46.
- [15] 胡受奚, 周云生, 孙志明. 钾质交代作用与铀矿床的成因联系[J]. 南京大学学报: 地质学, 1963, 14(2): 97-115.
- [16] 陈光远, 孙岱生, 邵伟. 胶东金矿红化蚀变的实质与成因及其找矿意义[C]//中国地质科学院地质研究所文集(29-30)[A]. 1997: 128-136.
- [17] Saunders CM, TuahJ, 谢荣举. 与 RatthngBrook 金矿化有关的钾化、钠化蚀变[J]. 地质科技情报, 1991, 11(2): 55-62.
- [18] 王玉荣, 胡受奚. 钾交代蚀变过程中金活化转移实验研究: 以华北地台金矿为例[J]. 中国科学: D 辑, 2000, 30(5): 499-509.
- [19] 范永香, 周群辉. 山东焦家金矿床成矿地球化学特征及成矿机理[J]. 地球科学, 1987, 12(4): 414-424.
- [20] 庞绪成, 王玉平, 郑广玉, 等. 焦家金矿床成矿元素富集及成因分析[J]. 黄金科学技术, 2003, 11(2): 15-19.
- [21] 赵鹏沅, 顾雪祥, 邓小华. 山东焦家金矿床成因及成矿模式[J]. 地质与勘探, 2007, 43(4): 29-35.
- [22] Wang Y R, Hu S X. Experimental study of gold activation transportation in the process of potash metasomatism alteration: North China platform gold deposit taken as an example[J]. Science in China: Series D, 2001, 44(1): 64-77.

## Origin and Metallogenic Significance of K – feldspar in Jiaojia Gold Deposit in Jiaodong Area

QIN Zuohuan, WEI Chao, LIANG Wenfei, ZHANG Liang

(Earth Sciences and Resources College of China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Jiaojia gold deposit belongs to altered rock type gold deposit, which has extensive wall rock alteration. It is one of the biggest gold deposit in reserves. Occurrence and chemical composition of the K – feldspar in the alteration rock have been analyzed and studied, and compared with the K – feldspar in the non – altered Linglong rock bodies. Three genetic types of K – feldspar occurred in Jiaojia gold deposit, including native K – feldspar (magmatic origin), hydrothermal K – feldspar of high temperature and hydrothermal K – feldspar of low temperature. Finally, combining with previous research, the formation and its mineralization significance of the hydrothermal K – feldspar have been discussed.

**Key words:** Rock alteration; hydrothermal K – feldspar; ore – forming significance; Jiaojia gold deposit; Jiaodong area