

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.01.005

引用格式:张晓东,方捷,张定源,等.安徽省东溪—南关岭金矿钾长石化特征与矿床成因研究[J].华东地质,2018,39(1):32-41.

# 安徽省东溪—南关岭金矿钾长石化特征与矿床成因研究

张晓东<sup>1</sup>,方捷<sup>1</sup>,张定源<sup>1</sup>,许乃岑<sup>1</sup>,谢恩才<sup>2</sup>,凌其怀<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016;

2. 安徽省霍山县黄金矿业有限责任公司,霍山 237200)

**摘要:**东溪—南关岭金矿是在北淮阳东段发现的第一个原生金矿,钾长石化与金矿化关系密切。对矿石中钾长石的形态、成分和结构标型等进行分析,发现该金矿中钾长石主要为冰长石,是部分有序的单斜晶系低温钾长石,说明该矿床不仅成矿温度低,且初始成矿流体富 K,成矿过程中存在石英—冰长石—金(银)矿化阶段,钾长石蚀变与金成矿作用同期发生。

**关键词:**结构标型;冰长石;钾长石;东溪—南关岭金矿;安徽省

**中图分类号:**P575

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-1871(2018)01-032-10

晓天—磨子潭火山岩盆地是安徽北淮阳地区金矿成矿条件最好的地区,目前已发现脉状金矿床、金矿(化)点十余处,主要分布于盆地内 NW 向裂隙及其北侧的次级构造带中,构成长约 20 km 的金矿化带,金矿类型主要是与陆相火山岩和火山机构关系密切的浅成低温热液型金矿<sup>[1]</sup>。东溪—南关岭金矿是在北淮阳东段发现的第一个原生金矿,是与中生代火山岩、次火山岩有关的浅成低温热液型金矿<sup>[1-3]</sup>。该金矿陡倾斜的脉状矿体和缓倾斜的囊状矿体中普遍发育钾长石,钾长石化与金矿化关系密切。研究表明,钾长石在高温至低温条件下形成的同质多象变体依次为透长石、正长石、微斜长石和冰长石。其中,透长石、正长石多发育于中、高温热液环境中,冰长石是钾长石的低温变种,形成于低温热液环境中,为低硫型浅成低温热液型金矿床的标志性矿物<sup>[4]</sup>,是金矿找矿中具有标型矿物和标志矿物双重意义的矿物之一<sup>[5]</sup>。钾长石化在铜、金、钼等矿床中作为一种重要的交代蚀变作用,与流体性质及矿床成因具有密切联系<sup>[6-7]</sup>。

作者等在实施“安徽省霍山县东溪—南关岭金矿接替资源勘查”项目时,以该金矿的地质特征及成矿条件为基础,采用地质调查、岩相学、电子探针及粉晶 X 衍射分析等方法,对东溪矿段和南关岭矿段中的钾长石形态、成分和结构标型特征等进行分析,系统研究该金矿钾长石化蚀变特征与矿床成因。

## 1 成矿地质背景

安徽北淮阳地区属于大别山碰撞造山带东段,位于武当—桐柏—大别成矿带<sup>[8]</sup>,桐柏—桐城断裂和六安断裂构成其南北边界,西到南阳盆地,东止郟庐断裂(图 1)。北淮阳浅变质带主要出露在磨子潭—晓天断裂以北,北邻合肥盆地,带中卢镇关杂岩和佛子岭岩群是扬子陆块俯冲过程中刮削下来的构造加积楔,是扬子陆块的浅变质基底和盖层<sup>[9]</sup>。

该区燕山期岩浆活动与金成矿作用密切相关<sup>[10]</sup>。燕山期岩浆岩主要受 NE 向、NW 向构造控制,并在深断裂交汇部位形成巨大的复式杂岩体,总体呈 NW 向带状分布,早期为钙碱性系列,晚期

\* 收稿日期:2017-03-27 修订日期:2017-08-25 责任编辑:谭桂丽

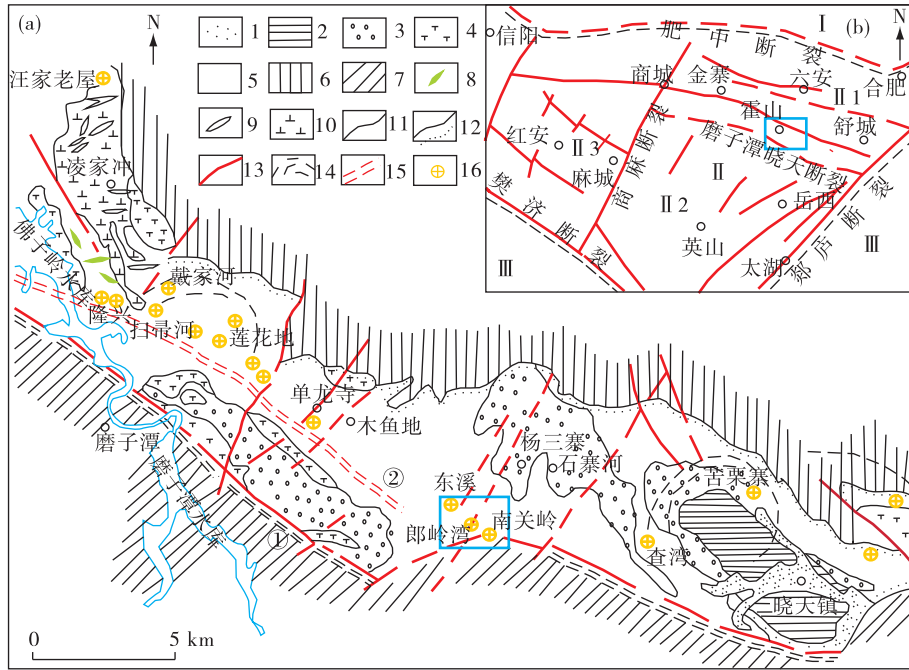
基金项目:中国地质调查局“安徽省霍山县东溪—南关岭金矿接替资源勘查(编号:12120114046001)”项目资助。

第一作者简介:张晓东,1981 年生,男,工程师,主要从事矿床地球化学研究。

以碱性系列为主<sup>[11-13]</sup>。

晓天火山岩盆地是北淮阳地区金成矿条件最好的地区之一,北西起霍山县凌家冲,南东至舒城县晓天镇,长轴约 36 km,短轴约 4~6 km,总面积约 180 km<sup>2</sup>,沿金寨—舒城断裂和磨子潭—晓天断裂(桐柏—桐城断裂)呈近 EW 向带状分布,向东被

郟庐断裂截切,西与庐枞火山盆地毗邻(图 1 b)。位于该盆地边缘的金矿主要赋存于早白垩世毛坦厂组钙碱性系列火山岩和次火山岩中(图 1 a),目前已发现东溪、南关岭、单龙寺、莲花地、戴家河、隆兴和汪家冲等十多个金矿床和金矿点<sup>[14]</sup>。



I. 华北陆块; II. 桐柏—大别山构造带; II<sub>1</sub>. 北淮阳褶皱带; II<sub>2</sub>. 桐柏—大别基底; II<sub>3</sub>. 桐柏—大别中元古代盖层; III. 扬子陆块; 1. 第四系; 2. 早白垩世晓天组; 3. 晚侏罗世黑石渡组; 4. 早白垩世毛坦厂组第二喷发旋回火山岩; 5. 早白垩世毛坦厂组第一喷发旋回火山岩; 6. 新元古代—早古生代佛子岭岩群; 7. 古元古代大别岩群蛇绿混杂岩; 8. 燕山期闪长玢岩; 9. 岩脉; 10. 凌家冲燕山期浅成侵入杂岩; 11. 地质界线; 12. 不整合界线; 13. 断裂; 14. 破碎蚀变带; 15. 金矿床(点); ①. 磨子潭—晓天深断裂; ②. 扫帚河—童家河破碎蚀变带。

图 1 晓天火山岩盆地地质略图(a)<sup>[14]</sup>和大别山构造地质简图(b)<sup>[15]</sup>

Fig. 1 Geological sketch map of Xiaotian volcanic rock basin(a) and regional tectonic sketch map of Dabie Mountains (b)

## 2 矿床地质特征

矿区出露的主要地层为毛坦厂组火山岩,基底为芦镇关岩群(仅见于矿区部分钻孔深部)角闪斜长片麻岩、角闪二长片麻岩、绿泥片岩等。矿区南部出露少量大别岩群黑云斜长片麻岩,局部有混合岩化作用形成的眼球状、条带状构造。金矿体主要赋存于毛坦厂组火山岩中,容矿围岩为安山质凝灰岩、安山质角砾凝灰岩、安山质火山角砾岩等。

矿区地层总体构成呈 NE 向缓倾斜的单斜,褶皱不明显,断裂发育(图 2),主要断裂有 NW 向和

NE 向 2 组,次为层间断裂和 SN 向断裂。围岩蚀变主要分布在含矿破碎带内和石英脉两侧,与含金石英脉空间关系密切,是该区寻找含金石英脉的直接标志。早期蚀变有青盘岩化、碳酸岩化、硅化和赤铁矿化,蚀变矿物粒径一般较细小,分布较均匀,原岩残留较多。晚期蚀变在主成矿阶段形成,叠加在早期蚀变之上,主要有硅化、钾长石化、绢云母化和碳酸岩化,蚀变带宽窄不一(图 2)。据含金脉体内矿物成分及其相互间的穿插关系,将成矿分为 4 个阶段。第一阶段矿脉为石英型,主要脉石矿物为石英,其次为方解石等,矿化较弱;第二阶段矿脉为方解石—石英型,主要脉石矿物为方解石和石英,矿

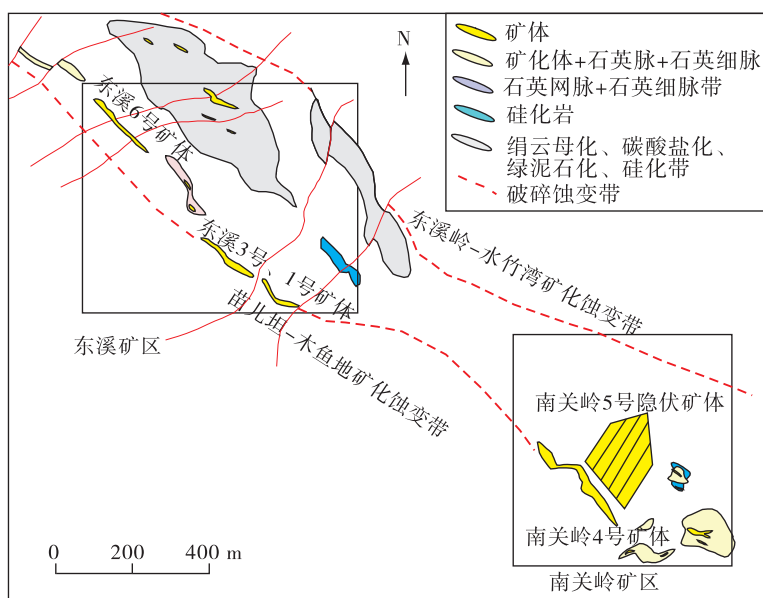


图2 东溪—南关岭金矿控矿破碎蚀变带示意图<sup>[3]</sup>

Fig. 2 Schematic diagram of ore-controlling fracture zones in the Dongxi-nanguanling gold mine area

化较弱;第三阶段矿脉为石英—钾长石(冰长石)型,主要脉石矿物为石英和冰长石,矿化较强,是主要成矿阶段;第四阶段矿脉为方解石型,矿化弱,主要矿物脉石为方解石,其次为石英等<sup>[2]</sup>。

金矿体主要产于含金石英脉内,含金石英脉的分布受NW向破碎带控制。矿区含金石英脉较多,东溪矿段内25条矿体金平均品位为11.99 g/t,南关岭矿段内发现及探明的18条矿体金平均品位为3.18 g/t。矿体多为脉状,少数呈透镜状、囊状,具膨大收缩、分枝复合、尖灭再现等特点。

钾长石是东溪—南关岭金矿床矿石中较常见的蚀变矿物,在东溪矿段陡倾斜1号矿体、3号矿体和南关岭5号隐伏矿体中皆可见及。钾长石主要分为2种,一种为无色—浅肉红色,镜下呈菱形或发育不完整的菱形或微粒集合体,粒径0.02~1.5 mm(图3e,图3f),与矿化期石英、方解石、绢云母及金(银)等呈脉状、网脉状产出,见于东溪矿段1号脉状矿体及近矿围岩中;该类型石英、钾长石脉,脉壁规则,钾长石与石英交生,钾长石形成略早于石英(图3a)。另一种钾长石为肉红色—浅红色,镜下多呈半自形—自形晶,中—粗粒,与石英、方解石等蚀变矿物呈团块状、条带状或网脉状产于南关岭5号大脉中(图3b,图3c,图3d)。

钾长石化仅出现于金矿化体、含金隐爆角砾岩

及其两侧近矿围岩中,并与细脉浸染状、网脉状矿化伴生。钾长石化蚀变带宽为数十厘米至十余米,是明显的找矿标志,有钾长石化出现的部位,金品位也较高。钾长石与石英、方解石以及金(银)矿物紧密共生,说明成矿中可能存在石英—钾长石(冰长石)—金(银)矿化阶段。

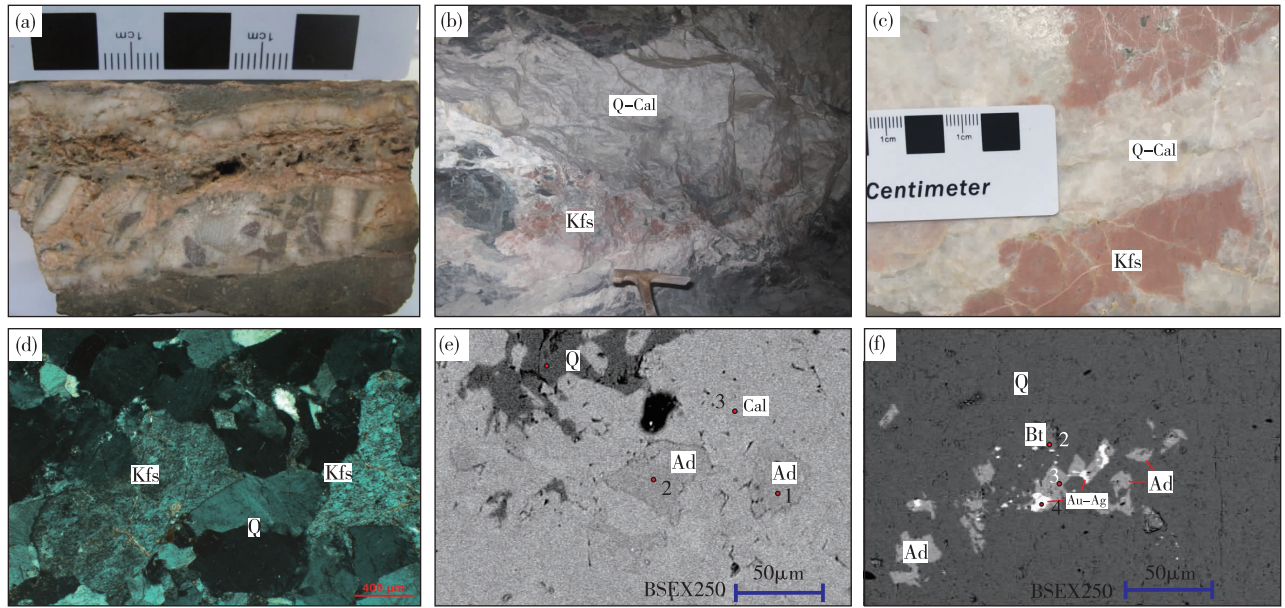
### 3 样品采集与测试方法

#### 3.1 样品采集

本次研究的钾长石化矿石样品采集于南关岭5号矿体和东溪1号矿体金品位较高的矿段。南关岭矿段5号矿体为隐伏矿,在其4号勘探线315标高和6号勘探线320标高处分别采集2件样品(样品编号分别为NGLb2和NGLb3)。在东溪矿段1号矿体1号勘探线215标高和220标高处分别采集样品2件(样品编号分别为DXb1和DXb2)。

#### 3.2 测试方法

电子探针分析在中国地质大学(北京)电子探针实验室完成。仪器型号为日本岛津EPMA-1600型电子探针仪,电压为15 Kv,电流为 $1 \times 10^{-7}$  mA,束斑为 $1 \mu\text{m}$ ,标准样品为美国SPI公司研制的电子探针标准样品。X射线衍射测试在国土资源部华东矿产资源监督检测中心完成,将钾长石样品粉碎至



(a). 钾长石与石英交生;(b). 石英—方解石大脉中的钾长石;(c). 团块状钾长石;(d). 石英方解石大脉中的钾长石化(冰长石化);(e). 冰长石电子探针照片;(f). 金银矿与细粒冰长石伴生;Q. 石英;kfs. 钾长石;Cal. 方解石;Ad. 冰长石;Bt. 黑云母;Au-Ag. 金银矿。

图 3 东溪—南关岭金矿矿石照片(a,b,c)、钾长石显微照片(d)及电子探针照片(e,f)

Fig. 3 Photos (a, b, c) of ores and photomicrograph (d) and microprobe photos (e, f) of K-feldspar from the Dongxi-Nanguanling gold deposit

60~80 目,在双目镜下挑选钾长石矿物样品约 2 g,放于玛瑙研钵中磨细至 200 目。仪器型号为 Rigaku D/max2500,其 2θ 扫描范围为 3°~70°,扫描速度为 4°/min,射线强度为 40kV/200 mA。对冰长石而言,2θ 介于 20°~36°之间的特征 X 射线是确定钾长石晶体结构的关键性参数<sup>[16]</sup>,该范围内的粉晶 X 射线参数见表 2。

## 4 测试结果

### 4.1 电子探针测试结果

钾长石电子探针分析结果见表 1。该区钾长石 SiO<sub>2</sub> 含量为 63.48%~65.81%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 17.53%~18.8%, K<sub>2</sub>O 含量为 15.78%~16.76%, Na<sub>2</sub>O 含量为 0.21%~1%, CaO 含量为 0.02%~0.25%,含微量 Mn、Fe 和 Mg。经换算,上述组分的分子含量分别为:Or=95.58%, Ab=3.86%, An=0.58%,属碱性长石富钾端元。与国内外其它浅成低温热液型金矿中冰长石相比(表 2),该钾长石 SiO<sub>2</sub> 含量偏低, K<sub>2</sub>O 含量偏高, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量偏低。

### 4.2 X 射线衍射分析结果

确定钾长石晶体结构的关键性参数为 2θ 介于 20°~36°的特征 X 射线<sup>[16]</sup>。该区钾长石 X 衍射结果见表 3,与国际衍射数据中心发表的冰长石特征(ICDD 冰长石)X 射线衍射参数<sup>[17]</sup>基本一致。

利用 X 射线粉末衍射法测定钾长石有序度的方法<sup>[18-20]</sup>较多,其中通过 2θ<sub>060</sub> 和 2θ<sub>-204</sub> 测定钾长石有序度是目前公认的较适合用于计算单斜钾长石有序度的方法<sup>[21]</sup>,计算单斜有序度 Sm 的公式为:

$$Sm = [14.267 + (2\theta_{060} - 1.098 \times 2\theta_{-204})] / 0.57$$

根据 И. ЕКаменцев 和 О. Г. Сметанкова 等(1977)研究,计算铝在晶格中占位的计算公式为:

$$T_1 = T_1(0) + T_1(m) = 13.015 + 0.695 \times 2\theta_{060} - 0.813 \times 2\theta^{-204}$$

$$\Delta P = -1.264 \times \Delta 2\theta_{(131-1-31)}$$

单斜钾长石:

$$Al_{T1}(o) = Al_{T1}(m) = T_1 / 2$$

$$Al_{T2}(o) = Al_{T2}(m) = (1 - T_1) / 2$$

根据钾长石样品的粉晶 X 衍射主要谱线参数和晶胞参数及结构态特征(表 4),计算钾长石单斜有

表1 东溪—南关岭金矿钾长石电子探针分析结果(%)

Table 1 Electron microprobe analysis results of K-feldspars in the Dongxi-Nanguanling gold deposit(%)

样品编号	NGLb2-1	NGLb3-1	NGLb3-2	DXb1-2	DXb1-3	DXb1-5	DXb2-1	DXb2-3	DXb2-5
采样位置	NGL4 线 315 m	NGL 6 线 320 m	NGL 6 线 320 m	DX 1 线 220 m	DX 1 线 220 m	DX 1 线 220 m	DX 1 线 215 m	DX 1 线 215 m	DX 1 线 215 m
SiO <sub>2</sub>	64.56	64.50	64.61	64.74	65.81	63.48	64.44	65.04	64.12
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.11	—	0.12	0.07	0.10	0.05	0.11	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.10	17.91	17.54	17.93	17.53	18.03	18.07	17.83	18.80
FeO	—	—	0.03	0.07	0.02	0.05	0.17	—	0.08
MnO	—	0.09	—	0.03	0.04	0.06	—	—	—
CaO	0.10	0.23	0.16	0.02	0.03	0.10	0.15	—	0.25
MgO	—	—	0.01	0.02	—	0.01	0.05	—	—
K <sub>2</sub> O	16.76	16.00	15.96	16.55	16.27	16.47	16.51	16.60	15.78
Na <sub>2</sub> O	0.33	0.43	1.00	0.37	0.31	0.41	0.21	0.32	0.54
总量	99.70	99.20	99.15	100.21	100.15	98.77	99.88	99.81	99.89
Ab	2.9	3.9	8.6	3.3	2.8	3.6	1.9	2.8	4.9
An	0.5	1.1	0.8	0.1	0.2	0.5	0.7	—	1.3
Or	96.6	95	90.6	96.6	97	95.9	97.4	97.2	93.9

注:—表示低于检测限。

表2 东溪—南关岭金矿与其他金矿中钾长石(冰长石)的化学组成对比(%)

Table 2 Chemical compositions of K-feldspars(adularias) in the Dongxi-Nanguanling gold deposit and other gold deposits (%)

地区	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	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	总量
东溪金矿	64.59	0.10	17.97	0.03	0.05	0.02	0.12	0.01	16.32	0.44	99.64
标准冰长石 <sup>[17]</sup>	64.28	—	19.19	0.09	—	—	—	0.11	15.3	0.92	99.89
日本菱刈金矿 <sup>[18]</sup>	67.44	—	16.43	—	0.12	—	—	0.045	15.34	0.01	99.38
瑞士 <sup>[5]</sup>	64.25	—	19.19	—	—	—	0.10	0.11	15.3	0.92	99.87
台湾 <sup>[5]</sup>	64.45	—	18.97	—	0.25	0.03	—	0.53	14.98	0.95	100.16
新疆石英滩金矿 <sup>[19]</sup>	65.17	0.02	18.55	0.07	0.04	0.03	0.01	0.01	16.01	0.12	100.03
祁雨沟金矿 <sup>[20]</sup>	65.91	0.15	17.92	—	0.31	—	—	0.02	14.85	1.1	100.26
古利库金(银)矿 <sup>[18]</sup>	66.05	—	17.53	—	0.06	0.08	—	0.07	16.04	0.25	100.08

注:表中为化学组分平均值;—表示低于检测限。

序度 Sm 为 0.32~0.46, 具中等有序度。Al 在钾长石 T<sub>1</sub>(o) 与 T<sub>1</sub>(m) 晶位的占位率之和为 0.70~0.75, 明显 < 1, T<sub>1</sub>(o) 位置中 Al 占位率相对较低。2 $\theta_{060}$  - 2 $\theta_{20}$  对结构状态的鉴定最有用<sup>[22]</sup>, 这个 2 $\theta$  差值从高透长石 2.7°~2.8° 变化到冰长石系列的 3.08° 左右, 本次测试样品 2 $\theta$  差值为 2.92~3.02, 明显高于透长石。所有样品中钾长石 130 和 131 面分裂不明显, 仅表现为 131 峰稍向低角度一侧偏移, 且衍射图谱在该 2 $\theta$  值表现为单峰特征(图 4)。以上测试分析说明东溪—南关岭金矿中的钾长石主要为冰长石, 是部分有序的单斜晶系低温钾长石, 而不是高透长石, 未向三斜晶系转化, 为低温条件下快速结晶的产物<sup>[23]</sup>。

## 5 讨论

### 5.1 钾长石化与金矿化的关系

东溪—南关岭金矿床中的钾长石主要为单斜晶系冰长石, 是部分有序的低温钾长石, 也是与石英、方解石及绢云母共生的标志性蚀变矿物。冰长石不同于一般钾长石, 国内外学者将其作为沸腾作用的指示剂<sup>[24]</sup>。当含矿热液聚集至超压、超临界流体内压力大于静岩载荷及岩石破坏强度之和时, 产生水力压裂, 使原有的封闭体系变为开放体系, 这种转变将导致压力释放, 骤然减压是触发流体沸腾的有效机制, 沸腾作用破坏了流体平衡, 促使成矿元

表 3 东溪—南关岭金矿钾长石粉晶 X 衍射主要谱线参数

Table 3 X-ray powder diffraction data and related parameters of K-feldspars from the Dongxi-Nanguanling gold deposit

NGL-b2			NGL-b3			DX-b2			DX-b3			标准冰长石		
d 值	I/I <sub>0</sub>	hkl	d 值	I/I <sub>0</sub>	hkl	d 值	I/I <sub>0</sub>	hkl	d 值	I/I <sub>0</sub>	hkl	d 值	I/I <sub>0</sub>	hkl
4.28	25	-2 0 1	4.27	26	-2 0 1	4.27	30	-2 0 1	4.26	35	-2 0 1	4.21	63	-2 0 1
3.97	2	1 1 1	3.96	1	1 1 1	3.96	6	1 1 1	3.95	11	1 1 1	3.94	20	1 1 1
3.87	1	2 0 0	3.87	5	2 0 0	3.88	2	2 0 0	3.87	4	2 0 0	3.84	6	2 0 0
3.79	6	1 3 0	3.79	4	1 3 0	3.79	12	1 3 0	3.79	30	1 3 0	3.77	73	1 3 0
3.64	1	-1 3 1	3.63	1	-1 3 1	3.64	2	-1 3 1	3.63	5	-1 3 1	3.61	17	-1 3 1
3.57	1	-2 2 1	3.48	6	-1 1 2	3.56	1	-2 2 1	3.55	3	-2 2 1	3.53	12	-2 2 1
3.48	5	-1 1 2	3.35	99	2 2 0	3.48	12	-1 1 2	3.48	21	-1 1 2	3.47	52	-1 1 2
3.35	100	2 2 0	3.30	7	-2 0 2	3.36	100	2 2 0	3.35	78	2 2 0	3.30	100	2 2 0
3.30	7	-2 0 2	—	—	—	—	—	—	3.29	36	-2 0 2	3.28	64	-2 0 2
3.24	11	0 0 2	3.24	8	0 0 2	3.25	40	0 0 2	3.24	100	0 0 2	3.24	98	0 0 2
3.04	4	1 3 1	3.00	100	1 3 1	3.00	15	1 3 1	3.00	30	1 3 1	2.99	56	1 3 1
2.94	1	-2 2 2	2.91	3	-2 2 2	2.95	2	-2 2 2	2.94	4	-2 2 2	2.93	8	-2 2 2
2.91	1	0 4 1	2.85	2	0 4 1	2.95	6	0 4 1	2.91	13	0 4 1	2.90	31	0 4 1
2.77	2	-1 3 2	2.77	1	-1 3 2	2.78	3	-1 3 2	2.77	7	-1 3 2	2.77	19	-1 3 2
2.61	2	-3 1 2	2.61	1	-3 1 2	2.62	3	-3 1 2	2.61	6	-3 1 2	2.60	18	-3 1 2
2.58	3	-2 4 1	2.58	2	-2 4 1	2.59	5	-2 4 1	2.58	13	-2 4 1	2.57	38	-2 4 1
2.56	1	1 1 2	—	—	—	2.56	3	1 1 2	2.55	7	1 1 2	2.55	11	1 1 2

注:标准冰长石 hkl 参照 ICDD 资料;—表示未检出。

表 4 东溪—南关岭金矿中钾长石晶胞参数及结构态特征值

Table 4 Cell parameters and crystal structure parameters of K-feldspars from the Dongxi-Nanguanling gold deposit

样号	a <sub>0</sub> (°)	b <sub>0</sub> (°)	c <sub>0</sub> (°)	β (°)	晶系	2θ <sub>131</sub>	2θ <sub>-113</sub>	2θ <sub>060</sub>	2θ <sub>-204</sub>	有序度 (Sm)	Al 占位率			
											T <sub>1</sub> (O)	T <sub>1</sub> (m)	T <sub>2</sub> (O)	T <sub>2</sub> (m)
DXb2	8.68	12.93	7.18	115.23	单斜	29.70	38.60	41.62	50.70	0.38	0.36	0.36	0.14	0.14
DXb3	8.69	12.96	7.19	115.66	单斜	29.78	38.72	41.64	50.68	0.46	0.38	0.38	0.12	0.12
NGLb2	8.65	12.98	7.21	116.66	单斜	29.34	38.6	41.62	50.66	0.46	0.38	0.38	0.12	0.12
NGLb3	8.69	13.02	7.21	115.76	单斜	29.76	38.64	41.58	50.70	0.32	0.35	0.35	0.15	0.15
冰长石	8.56	12.98	7.21	116.01	单斜	29.88	38.68	41.76	50.68	0.68	0.42	0.42	0.08	0.08

注:标准冰长石参照 ICDD 资料。

素沉淀<sup>[24]</sup>。在成矿热液沸腾过程中,大量的 CO<sub>2</sub> 及 H<sub>2</sub>S 等气体逸失,导致 pH 值升高而逐渐显碱性,绢云母等矿物转变成冰长石,形成冰长石稳定相<sup>[25]</sup>。含金热液沸腾时,CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>S 等气体的挥发导致金(银)在热液中过饱和而发生沉淀,与冰长石、石英在矿脉中一起出现,从而形成高品位的金矿石<sup>[26]</sup>。同时,沸腾作用还会导致 CO<sub>2</sub> 进入上部低温的地下水,通过与围岩反应或去气作用使富 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 的水溶液中和,形成成矿中、后期的方解石脉。这种成矿期后的方解石脉可直接作为推断流体发生沸腾作用的证据,也可作为低硫型浅成低温热液矿床的找矿标志<sup>[27-28]</sup>。南关岭矿段 5 号矿体

310 标高(2 号勘探线、4 号勘探线、6 号勘探线)顶板、底板为隐爆角砾岩,可能是成矿热液沸腾引起的局部隐爆,角砾组构呈锯齿状、角砾状,可拼接(图 5)。金常富集在沸腾面附近,因此沸腾面的圈定对于金矿的找矿勘探及预测具有重要意义<sup>[23]</sup>。南关岭 5 号矿体 310 中段近水平的石英+冰长石+方解石矿体,可能代表该矿床成矿流体沸腾线的标高。该金矿中硅化和冰长石化与成矿关系最为密切,硅化强烈并发育冰长石的矿段,金品位越高。显然,冰长石可作为富矿体存在的标志矿物,具有一定的找矿指示意义。

大量的实验结果表明,透长石、正长石可以在

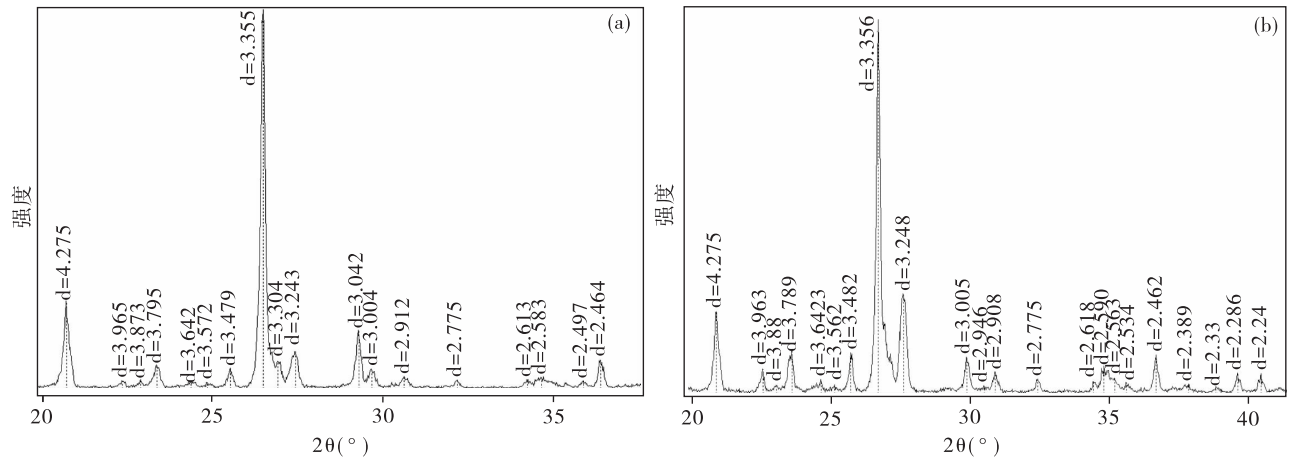


图4 东溪—南关岭金矿钾长石样品 NGL-b2(a)和 DX-b2(b)粉晶 X 衍射图谱

Fig. 4 X-ray diffraction spectrum of K-feldspars sample NGL-b2(a) and DX-b2(b) from the Dongxi-Nanguanling gold deposit

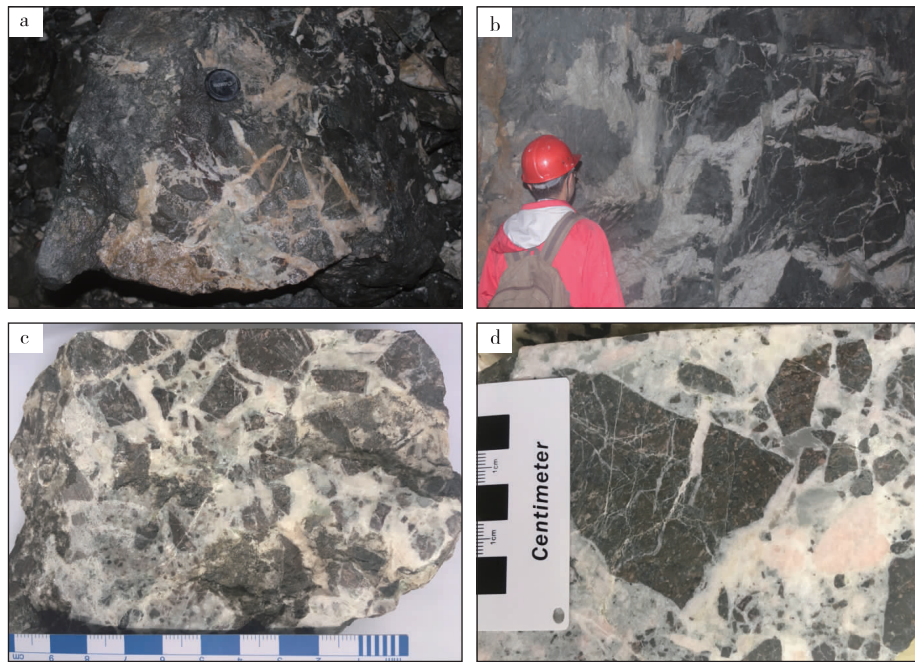


图5 南关岭5号矿体隐爆角砾岩

Fig. 5 Cryptoexplosive breccia of the No. 5 orebody in the Dongxi-Nanguanling gold deposit

195 °C~400 °C 内合成,微斜长石加热可转变为单斜晶系的正长石、透长石<sup>[29-31]</sup>。但正长石在400 °C 以下是稳定的,冷却后无法转变为微斜长石、冰长石<sup>[6,32]</sup>,即微斜长石、冰长石通常只在水热条件下通过碱交换反应形成。笔者认为,东溪—南关岭金矿床中存在的小颗粒菱形冰长石形成于沸腾环境,是冰长石—绢云母型浅成低温热液矿床的标型矿物。

该矿床成矿过程中存在石英—钾长石(冰长石)—金(银)矿化阶段,钾长石蚀变与金成矿化关系密切,冰长石的存在反映了成矿作用时,该矿床不仅成矿温度低,且有大量的钾交代作用参与,说明初始成矿流体富K。

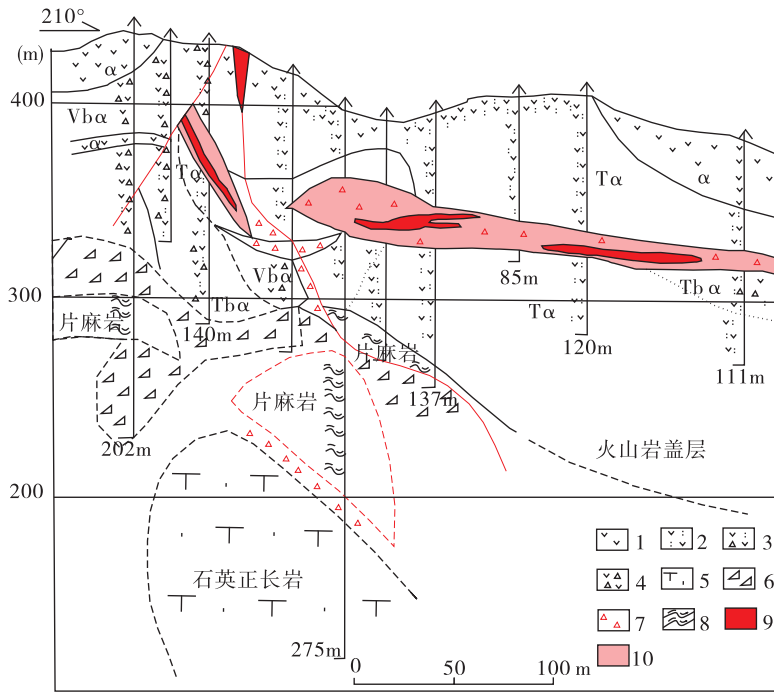
## 5.2 矿床成因

区内成矿构造主要为发育在中生代火山岩盖

层中的 NW 向构造破碎带,南关岭 5 号矿体实际为一条隐伏在火山岩盖层中的似层状含矿破碎带。该破碎带在倾向上出现多个由膨大的角砾岩—厚大矿体—密集裂隙带组成的透镜体(囊状矿体),其主体由石英—冰长石—方解石大脉型矿石组成,为矿囊中心,其上下为角砾型矿石,并逐渐过渡至围岩。角砾岩的边部围岩表现为石英—方解石细脉带或裂隙带,其产状垂直于缓倾构造带,近于直立。这些角砾岩由角砾(安山岩碎块、石英角砾、方解石角砾)以及热液矿物(石英、方解石)胶结物组成,缺少断层角砾岩必备的碎基物,说明主要是成矿气液在此隐爆所致(图 5)。角砾岩深部—不整合面之下的变质基底中,已发现了呈面状展布的厚度超过百

米的碎裂岩—角砾岩,延伸方向与上述囊状—似层状角砾岩体一致,控制长度 > 300 m,宽度数百米不等。从南关岭矿区多条勘探线钻孔验证看,在较深(一般穿过火山岩盖层)钻孔中的囊状矿体下方,火山岩盖层与变质岩基底中常见石英正长岩和闪长玢岩小岩株,岩株顶部至不整合面附近为几米至几十米厚的碎裂岩、角砾岩,胶结物以石英—方解石为主(图 6)。

显然,上述角砾岩不能孤立对待,即火山岩层中发育的似层状—囊状含矿气液角砾岩可能是不整合面之下角砾岩—碎裂岩体的上部分支系统,这些角砾岩主要为成矿过程中含矿热液沸腾作用形成引爆角砾岩。



1. 安山岩;2. 安山质凝灰岩;3. 安山质角砾凝灰岩;4. 火山角砾岩;5. 石英正长岩;6. 碎裂岩;7. 角砾岩;8. 片麻岩;9. 矿体;10. 角砾岩型低品位矿体。

图 6 南关岭金矿似层状矿体剖面图

Fig. 6 The layered orebodies of the Dongxi-Nanguanling gold deposit

在北淮阳火山岩盆地,燕山期岩浆岩约占基岩出露面积的 1/3,形成了长约 300 km 的 NWW-SEE 向火山—侵入岩带<sup>[33]</sup>。晓天火山岩盆地内已发现金矿脉 200 余条,大、小矿体 70 余个<sup>[2]</sup>,分布于区内 NW 向裂隙北侧的次级构造带中<sup>[1]</sup>。在北淮阳东段已探明的金银多金属矿床主要包括霍山县东溪—南关岭金矿、金寨县鲜花岭铅锌矿、汞洞冲铅锌矿、

银沙—银冲铅锌矿、银水寺铅锌矿、沙坪沟钼矿,以及东港—秦湾铅锌矿等。北淮阳东段金属矿床的共同点是均与中生代岩浆活动具有密切关系<sup>[34-35]</sup>。该区在中生代之前经历了多期变形变质、混合岩化和花岗岩化作用,导致变质岩基底中金元素多次活化、迁移和富集,形成矿源层。燕山期构造岩浆作用部分熔融了矿源层,聚集了一定的成矿物质<sup>[2,36]</sup>,



在该过程中以及期后次火山岩作用下,含矿热液沿NW向童家河断裂(磨子潭—晓天断裂的一部分)提供的通道运移至火山岩盖层中。沿断裂环流的富K、富CO<sub>2</sub>的流体,从不同岩石中淋滤出成矿元素,并在上覆的安山质火山岩层间破碎带及裂隙脉内沉淀。该金矿的形成是多种地质活动共同作用的结果,但早白垩世岩浆作用是最重要的成矿驱动机制。东溪—南关岭金矿床的钾长石化、硅化、碳酸盐化是同一成矿事件不同阶段的产物,冰长石的出现为矿床成因研究提供了确切证据,证明东溪—南关岭金矿床属于冰长石—绢云母型浅成低温热液矿床。

## 6 结 论

(1)东溪—南关岭金矿床中的钾长石主要为冰长石,是部分有序的单斜晶系低温钾长石,是与石英、方解石以及绢云母共生的标志性蚀变矿物。冰长石与石英、方解石及金(银)矿物紧密共生,说明成矿中存在石英—钾长石(冰长石)—金(银)矿化阶段,冰长石的存在说明该矿床不仅成矿温度低,且初始成矿流体富K。

(2)金矿体在空间分布上与钾化蚀变带相吻合,表明金矿化与钾交代作用具有成因联系。该金矿中硅化和冰长石化与成矿关系最为密切,硅化强烈并发育冰长石的矿段,金品位越高,冰长石可作为富矿体存在的标志矿物。

(3)中生代火山岩盖层下存在隐伏的早白垩世侵入岩,侵入活动形成隐爆角砾岩,为富K的含矿流体活动及沉淀成矿提供了重要空间。

## 参考文献

- [1] 杜建国.安徽晓天中生代火山岩盆地金矿成矿地质条件[J].贵金属地质,1992(4):207-213.
- [2] 徐兆文,杨荣勇,任启江.安徽晓天—磨子潭火山岩盆地脉状金矿床特征及成因[J].南京大学学报,1993,29(4):658-669.
- [3] 张定源,王爱国,张晓东,等.安徽省霍山县东溪—南关岭金矿地质特征与成矿条件[J].资源调查与环境,2014,35(3):202-210.
- [4] Heald P, Foley N K, Hayba D O. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types[J]. Economic Geology, 1987,82(1):1-26.
- [5] 王濮,潘兆鲁,翁玲玉,等.系统矿物学[M].北京:地质出版社,1984.
- [6] 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.
- [7] Saunders CM, Tuah J, 谢荣举.与 Rattling Brook 金矿矿化有关的钾化、钠化蚀变[J].地质科技情报,1992(2):52-62.
- [8] 徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008:133-135.
- [9] 江来利,胡昭齐.大别山东段的变质地层格架[J].安徽地质,2014,24(1):1-6.
- [10] 徐贵忠,王艺芬,张稳胜.桐柏—大别山碰撞造山带的大地构造演化[J].西安地质学院学报,1993,15(1):35-41.
- [11] 陈廷恩,朱宝贵,刘志刚,等.大别山腹地燕山期岩浆作用和变质作用同位素年代学研究及其地质意义[J].地质学报,1991,65(4):329-335.
- [12] 陆三明,徐晓春,彭智.北淮阳构造带东段隐爆角砾岩型多金属矿床的地质特征及成因[J].地质与勘探,2005,41(3):7-11.
- [13] 彭智,杜建国,陈芳,等.北淮阳东段同兴寺碱性岩体地球化学特征 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质学报,2015,89(4):701-714.
- [14] 徐贵忠,边千韬,王艺芬,等.安徽北淮阳地区金成矿地质背景地质条件和成矿作用[J].贵金属地,1994,3(3):225-232.
- [15] 游振东,钟增球,张泽明.桐柏—大别山区高压变质相的构造配置[J].地学前缘,1999,6(4):236-244.
- [16] Steiner A. Genesis of hydrothermal K-feldspar (Adularia) in an active geothermal environment at Wairakei, New Zealand[J]. Mineralogical Magazine, 1970,37(292):916-922.
- [17] Deer W A, Howie R A, Zussman J. An Introduction to the Rock-forming Minerals[J]. Longman Scientific and Technical, 1992,66(25):509-517.
- [18] 杨芳林,李之彤,朱群,等.古利库金(银)矿床中冰长石的发现及其地质意义[J].贵金属地质,1999(4):236-240.
- [19] 贾斌,毋瑞身,田昌烈,等.新疆阿希晚古生代冰长石—绢云母型金矿特征[J].贵金属地质,1999(4):199-208.
- [20] 张元厚,张世红,韩以贵,等.祁雨沟含金角砾岩筒中的冰长石—方解石组合及其矿床地质意义[J].岩石矿物学杂志,2006,25(1):77-84.
- [21] 马鸿文.钾长石 X 射线与红外有序度的对比及与 Al 占位和平衡温度的关系[J].矿物学报,1988(2):143-150.

- [22] Guyl Hovis, 栾文楼.碱性长石 Al-Si 分布的粉末衍射最大值效应以及确定 T1 和 T2 位占有率的一种简易方法[J].地质科学译丛,1990(4):11-17.
- [23] 杜登文,洪汉烈,范坎,等.湖北蕲春花岗岩钾长石的结构状态研究[J].光谱学与光谱分析,2013,33(3):613-617.
- [24] Dong G, Morrison G W. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin [J]. Mineralium Deposita, 1995,30(1):11-19.
- [25] 谢广东.热液沸腾作用与金矿化的关系及其找矿意义[J].地质科技情报,1993,12(3):61-67.
- [26] Cooke D R, Simmons S F. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits[J]. Reviews in Economic Geology,2000,13(12):221-244.
- [27] Simmons S F, Chritenson B W. Origins of calcite in a boiling geothermal system[J]. American Journal of Science, 1994,294(3):361-400.
- [28] John D A, Hofstra A H, Fleck R J, et al. Geologic setting and genesis of the Mule Canyon low-sulfidation epithermal gold-silver deposit, north-central Nevada [J]. Economic Geology, 2003, 98(2): 425-463.
- [29] Barrer R M, Hinds L. Hydrothermal synthesis of potash feldspar in the range 195-200 degrees C[J]. Nature,1950,166(4222): 562.
- [30] Goldsmith J R, Laves F. The microcline-sanidine stability relations[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1954,5(1):1-4.
- [31] Baskin Y. Observation on heat-treated authigenic microcline and albite crystals [J]. The Journal of Geology,1956,64(3): 219-224.
- [32] 洪大卫.钾长石的有序—无序及其地质意义[J].国外地质参考资料,1978,16(1): 90-109.
- [33] 戴圣潜,邓晋福,吴宗絮,等.大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据[J].中国地质,2003,30(2): 159-165.
- [34] 王波华,邹宗玲,张怀东,等.安徽省金寨银沙地区中生代岩浆岩地质地球化学特征及其找矿意义[J].安徽地质,2007,17(4):244-248.
- [35] 王根节,张怀东,项斌,等.北淮阳构造带东段中生代岩浆活动与多金属成矿作用[J].安徽地质,2010,20(4): 267-272.
- [36] 彭智,陆三明,徐晓春.北淮阳构造带东段金—多金属矿床区域成矿规律[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2005,28(4):364-368.

## K-feldspar metasomatism in the Dongxi-Nanguanling gold deposit, Huoshan County, Anhui and its genetic relationship to gold mineralization

ZHANG Xiao-dong<sup>1</sup>, FANG Jie<sup>1</sup>, ZHANG Ding-yuan<sup>1</sup>, XU Nai-cen<sup>1</sup>, XIE En-cai<sup>2</sup>, LING Qi-huai<sup>2</sup>

(1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China;

2. Huoshan County Gold Mine Co., LTD, Huoshan 237200, China)

**Abstract:** The Dongxi-Nanguanling gold deposit is the first primary gold deposit found in the eastern section of North Huaiyang, in which K-feldspar alteration has close relationship with gold mineralization. The mineragraphy, electroprobe and X-ray diffraction analyses show that most of K-feldspars in this gold deposit are ordered low-temperature adularias of the monoclinic system instead of disorder sanidine. It reflects low temperature mineralization and K enrichment of primary ore-forming fluids. It can be concluded that the K-feldspar alteration and Au mineralization occurred contemporaneously during the mineralization process of quartz+adularia+gold (silver).

**Key words:** typomorphy and texture; adularia; K-feldspar; Dongxi-Nanguanling gold deposit; Anhui Province