

安徽淮北三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床 生成地质环境、分带和流体演化*

赵一鸣 张轶男 毕承思 唐开健 孙庆安

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京) (安徽地质矿产局 325 地质队, 淮北)

提 要: 世界上的含金夕卡岩大多属钙夕卡岩型, 镁夕卡岩金矿床十分稀少。本文介绍我国安徽北部三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床的地质地球化学特征。该区含金(铜、铁)镁夕卡岩主要产于地台断拗区燕山期石英二长闪长玢岩与中上寒武统白云质大理岩外接触带。岩体内接触带发育钙夕卡岩和钾长石化, 局部有辉钼矿化产出。金矿化与铜的硫化物密切共生, 属于镁夕卡岩的退化热液交代作用产物。金属矿化分带序列自蚀变石英二长闪长玢岩到镁夕卡岩、蛇纹石化白云质大理岩依次为: Mo→Fe→Cu (Au) →Au (Cu)。矿物共生组合和流体包裹体研究表明, 交代成矿作用的演化可分为 3 个阶段: ①镁(钙)夕卡岩阶段; ②铁(镁)氧化物阶段; ③碳酸盐(石英)-硫化物和金矿化阶段。

关键词: 含金镁夕卡岩 地质环境 分带 流体演化 安徽三铺

含金夕卡岩矿床是当前国际地学界研究的热点之一。近十几年来, 国内外有关含金夕卡岩矿床的文献报导大多为钙夕卡岩型, 达 500 余篇^[1,7~10], 但有关含金镁夕卡岩矿床的报导却寥若晨星, 只有少数几篇^[11~13]。安徽三铺地区已知分布有 4 个中(小)型镁夕卡岩金(铜、铁)矿床, 即秦楼、前常、杨桥孜和刘楼, 金的总储量已达大型。与国外已报导的含金镁夕卡岩矿床对比, 本区夕卡岩金矿床在生成地质环境和成矿地质地球化学特征等方面颇具特色。

1 成矿区域地质构造环境

三铺地区位于安徽北部淮北市南, 宿县北西约 15 km 处。在大地构造上处于中朝准地台鲁西断隆边缘的华北断拗带内^[2]。根据中国大陆 45 km 深度的地震层析成像资料^[3], 三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床集中区恰位于上地幔异常区, 说明成矿作用可能与局部的地幔柱隆起有关。

本区的地质褶皱方向为 NNE。EW 向和 NNE 向深断裂的交汇控制了燕山期中酸性侵入岩的侵位。控矿围岩为中上寒武统白云岩和白云质灰岩, 其中上寒武统以白云岩为主, 含 MgO 高达 16.87%~20.43%, 从而为形成本区镁夕卡岩提供了必要的围岩条件。

2 岩浆岩

与镁夕卡岩金(铜、铁)矿床有关的岩浆岩为燕山期($180 \times 10^6 \sim 131 \times 10^6$ a)中酸性浅

* 国家自然科学基金资助项目(49573184)的部分成果
第一作者简介: 赵一鸣, 男, 1934 年生, 研究员, 矿床学博士生导师, 长期从事夕卡岩矿床研究。邮政编码: 100037
1998-09-21 收稿, 1998-12-22 修改回

成复式侵入岩体，呈岩株状主要侵位于下古生代地层中，出露面积约 53.8 km² (图 1)。该岩体主体由石英二长闪长玢岩组成(图 2)，其中心部位则为花岗闪长斑岩，后者的形成时间相

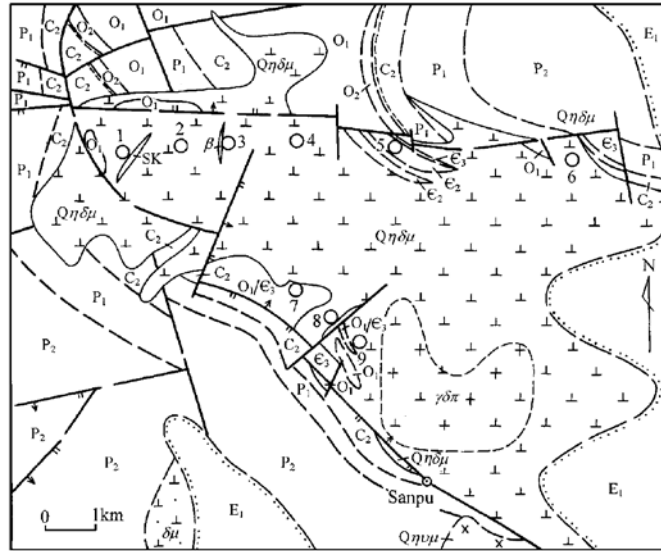


图 1 安徽北部三铺地区镁夕卡岩(铁、铜)矿床地质略图

E₁—下第三系; P₁、P₂—下、上二叠统; C₂—中石炭统; O₂、O₁—中、下奥陶统; O₁/ε₃—下奥陶统或上寒武统; ε₃、ε₂—上、中寒武统; Qηδμ—石英二长闪长玢岩; γδπ—花岗闪长斑岩; δμ—闪长玢岩; Qηνμ—石英二长辉长玢岩; β—辉绿岩; Sk—夕卡岩; 1—陈庄铜铁矿; 2—刘楼村铜铁矿; 3—刘楼金铜铁矿; 4—小任家铁矿; 5—杨桥孜铜金矿; 6—秦楼铜金矿; 7—三铺铜铁矿; 8—前常金铜铁矿; 9—前常东铜铁矿

Fig. 1. Geolological sketch map of the Sanpu Au (Fe, Cu) skarn district, northern Anhui.

E₁—Paleogene; P₂—Upper Permian; P₁—Lower Permian; C₂—Middle Carboniferous; O₂—Middle Ordovician; O₁—Lower Ordovician; O₁/ε—Lower Ordovician or Upper Cambrian; ε₃—Upper Cambrian; ε₂—Middle Cambrian; Qηδμ—Quartz monzodiorite-porphry; γδπ—Granodiorite-porphry; δμ—Diorite porphyry; Qηνμ—Quartz monzogabbroporphry; β—Diabase; SK—Skarn; 1—Chengzhuang Cu-Fe deposit; 2—Luloucun Cu-Fe deposit; 3—Liulou Au-Cu-Fe deposit; 4—Xiaorenjia Fe deposit; 5—Yangqiaozi Cu-Au deposit; 6—Qinlou Au-Cu (Fe) deposit; 7—Sanpu Cu-Fe deposit; 8—Qianchang Cu-Fe-Au deposit; 9—Qianchang East Cu-Fe deposit.

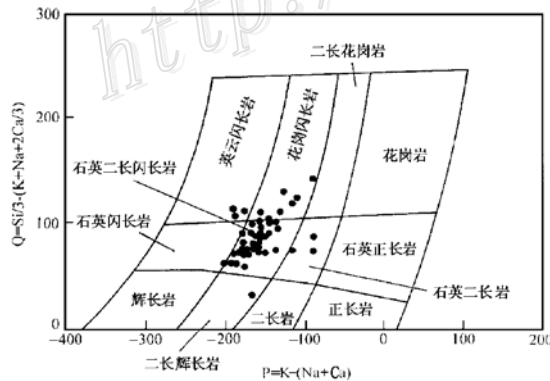


图 2 三铺地区与含金(铜、铁)镁夕卡岩有关的侵入岩成分

(分析数据据本文; 原图据 Debon 等, 1983^[14])

Fig. 2. Composition of the Au (Cu, Fe) magnesian skarn-related igneous rocks in Sanpu area.

对较晚。石英二长闪长玢岩与成矿关系较密切, 它具有斑状结构, 斑晶为斜长石、角闪石和黑云母, 基质由斜长石、钾长石和石英组成, 含少量磷灰石、磁铁矿和榍石等副矿物。

石英二长闪长玢岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.708^①。岩石的稀土元素分布模式属于轻稀土富集型, 稀土总量 ΣREE 为 $80.92 \times 10^{-6} \sim 121.50 \times 10^{-6}$, 球粒陨石标准化稀土配分模式显示出右倾曲线, Eu 异常不明显; 全岩的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 9.5‰。上述资料表明, 成矿岩浆主要来源于上地幔, 但混入了部分硅铝质壳源物质, 属幔壳混合型。

3 夕卡岩及其分带

3.1 夕卡岩类型和矿物组成

区内发育两类夕卡岩: 镁夕卡岩和钙夕卡岩, 以前者为主。

镁夕卡岩一般产于外接触带, 组成矿物主要有透辉石 ($\text{Di}_{94.3 \sim 99.9}\text{Hd}_{0 \sim 5.7}\text{Jo}_{0 \sim 0.7}$)、镁橄榄石、方镁石、金云母、斜硅镁石、粒硅镁石、透闪石等, 常叠加有多量蛇纹石(包括利蛇纹石、纤维蛇纹石和胶蛇纹石)、碳酸盐(方解石、白云石)、滑石和水镁石等晚期热液蚀变矿物。其中, 蛇纹石主要交代镁橄榄石和斜(粒)硅镁石, 而斜绿泥石和水镁石则分别交代金云母和方镁石而呈它们的假像。

钙夕卡岩通常见于内接触带, 主要由透辉石 ($\text{Di}_{82.3 \sim 87.6}\text{Hd}_{12.1 \sim 16.5}\text{Jo}_{0.3 \sim 1.2}$)、石榴石 ($\text{Gr}_{38.8 \sim 97.3}\text{Ad}_{2.6 \sim 61.1}\text{Sp}_{0.1 \sim 0.4}$)、绿帘石和钾长石等组成, 局部有方柱石或钙铝黄长石。在钙夕卡岩旁侧的石英二长闪长玢岩中广泛发育钾长石化, 使岩石蚀变为肉红色, 其宽度可达数十米至一百余米。因此, 钾长石化可作为重要的找矿标志之一。

主要夕卡岩矿物和有关交代矿物的代表性化学成分见表 1。

3.2 夕卡岩分带

夕卡岩分带在三铺地区各镁夕卡岩金(铜、铁)矿床中均较明显, 其分带序列从石英二长闪长玢岩向白云石大理岩方向一般为: 石英二长闪长玢岩→钾长石化石英二长闪长玢岩→绿帘石化透辉石化石榴石化石英二长闪长玢岩或绿帘石化透辉石-石榴石夕卡岩→透辉石-金云母夕卡岩→斜硅镁石(粒硅镁石)夕卡岩→蛇纹石化白云石大理岩→白云石大理岩。Fe、Cu、Au 等金属矿化主要赋存于外接触带镁夕卡岩或蛇纹石化白云石大理岩中。

夕卡岩分带甚至在手标本(如 07-455 号)中都清晰可见, 并显示出对称分带现象。中心部位为透辉石-钙铝榴石-钙铝黄长石夕卡岩, 原岩可能为石英二长闪长玢岩, 其两侧为金云母夕卡岩, 外侧则为蛇纹石化镁橄榄石斑花大理岩。

镁夕卡岩产于外带、钙夕卡岩产于内带的上述夕卡岩分带格局和陕西洛南地区木龙沟镁夕卡岩铁(钼)多金属矿床的分带^[4]有一定相似性, 说明这两类夕卡岩均属于岩浆期后的接触交代产物。

4 金属矿物组合、矿化分带和成矿阶段

4.1 金属矿物组合

① 中国科学院地质所乔广生和张仁祜分析

表1 三辅地区含镁夕卡岩中代表性交代矿物的电子探针分析
 Table 1. Electron microprobe analyses of representative metasomatic minerals in the Au-bearing magnesian skarns of the Sanpu area

样号	07-500	203-625	07-455-3	203-536	07-455-1	07-500	07-455-2	203-486	203-636	3002-779	07-466	203-475	02-211	02-210	02-192	203-745
矿物名称	透辉石	透辉石	石榴石	石榴石	榭榭石	金云母	钙铝黄长石	粒硅铁石	斜硅铁石	蛇纹石	透闪石	斜绿泥石	水镁石	镁铁石	镁铁石	硬磁铁矿
产地	秦楼	前常	秦楼	前常	秦楼	秦楼	秦楼	前常	前常	前常	秦楼	前常	秦楼	秦楼	秦楼	秦楼
SiO ₂ /%	54.66	52.30	39.74	36.12	41.74	41.22	38.53	35.62	35.20	48.55	57.73	25.70	0.00	0.53	0.24	0.12
TiO ₂	0.19	0.16	0.74	0.02	0.00	0.29	0.87	0.18	0.53	0.02	0.08	0.11	0.00	0.00	0.00	0.10
Al ₂ O ₃	0.05	0.76	20.89	8.01	0.00	13.53	22.06	0.00	0.20	1.83	0.14	18.68	0.01	1.39	0.32	0.44
Fe ₂ O ₃			0.87	22.85										76.50	76.85	69.26
FeO	1.19	4.87			1.18	0.80	0.11	2.05	1.08	1.86	0.90	1.73	0.98	3.70	4.27	25.55
MnO	0.03	0.31	0.03	0.22	0.10	0.03	0.19	0.25	0.10	0.01	0.05	0.05	0.00	0.22	0.00	0.18
MgO	18.65	15.39	0.40	0.03	55.87	27.84	0.00	57.06	54.82	32.46	25.56	35.85	64.93	17.66	17.17	3.32
CaO	25.75	25.17	35.73	32.43	0.02	0.03	37.72	0.03	0.00	0.82	12.18	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
Na ₂ O	0.04	0.08	0.05	0.02	0.00	0.17	0.04	0.00	0.21	0.06	0.41	0.03	0.03	0.00	0.02	0.04
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.18	0.04	0.00	0.01	0.07	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
总和	100.56	99.04	98.45	99.70	99.91	94.19	99.56	95.19	92.15	85.68	97.23	86.15	65.95	100.01	98.96	99.01
Si/10 ⁻⁶	1.968	1.841	3.028	2.944	0.986	5.819	0.974	0.899	0.912	2.567	7.600	6.636	0.000	0.141	0.066	0.037
Ti	0.005	0.005	0.042	0.002	0.000	0.031	0.017	0.004	0.010	0.001	0.008	0.016	0.000	0.000	0.000	0.022
Al	0.002	0.033	1.876	0.770	0.000	2.267	0.657	0.000	0.006	0.114	0.022	4.178	0.000	0.439	0.102	0.158
Fe ³⁺			0.050	1.402										15.418	15.824	13.752
Fe ²⁺	0.035	0.151			0.023	0.094	0.002	0.043	0.023	0.082	0.099	0.275	0.008	0.829	0.976	5.458
Mn	0.001	0.010	0.002	0.015	0.002	0.005	0.004	0.005	0.002	痕迹	0.007	0.008	0.000	0.049	0.000	0.045
Mg	1.001	0.852	0.045	0.003	2.001	5.857	0.000	2.146	2.116	2.558	5.015	10.138	0.991	7.051	7.003	1.498
Ca	0.993	1.001	2.917	2.832	0.001	0.004	1.022	0.001	0.000	0.047	1.718	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000
Na	0.003	0.005	0.007	0.002	0.001	0.047	0.002	0.000	0.011	0.006	0.104	0.011	0.001	0.000	0.001	0.025
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.833	0.001	0.000	痕迹	0.005	0.029	0.000	0.000	痕迹	0.000	0.000
总和	4.008	3.998	7.967	7.970	3.014	15.957	2.679	3.098	3.080	5.380	14.602	20.262	1.000	23.927	23.998	23.995
氧原子数	6	6	12	12	4	22	7	8	8	7	23	26	1	32	32	32

注:中国科学院地质研究所王义燧分析;全铁按 FeO 和/或 Fe₂O₃ 计算

含金(铜、铁)镁夕卡岩矿床的主要金属矿物为磁铁矿、镁磁铁矿、镁铁矿、黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿,少量或微量矿物有辉铜矿、硼镁铁矿、蓝辉铜矿、辉钼矿、黝铜矿、磁黄铁矿、方黄铜矿、自然金、银金矿、碲银矿、自然铋、自然银、硫铋铜铅矿、红硒铜矿和硒铋银铜矿等。其中镁铁矿作为一种罕见的交代矿物,在我国是首次发现。它产于秦楼矿区浅部的镁夕卡岩化白云石大理岩捕虏体中,构成透镜状镁铁矿独立矿体(图3)。在镁铁矿中MgO含量可高达17.17%~17.66%(表1),大大高于意大利维苏威火山中发现的镁铁矿MgO含量(12.54%)^[45]。这在世界上实属罕见。镁磁铁矿的MgO含量也较高,为2.68%~8.45%。

4.2 矿化分带

铁、铜、金矿体一般呈透镜状或似层状产于外接触带蚀变镁夕卡岩和蛇纹石化白云石大理岩中,而钼矿体则呈脉状产于钾长石化石英二长闪长玢岩的裂隙面内。金属矿化分带在秦楼矿区十分清楚,从钾长石化石英二长玢岩到蛇纹石化白云石大理岩方向,矿化分带序列依次为:Mo→Fe→Cu(Au)→Au(Cu)(图3),反映了从高温到中(低)温热液交代作用的空间演化趋势。

4.3 成矿阶段

矿物共生组合研究表明,在上述交代矿物中,镁橄榄石、透辉石、方镁石等镁夕卡岩矿物形成最早,大致和内夕卡岩带的钙铝榴石、钙铝黄长石和透辉石相当,属于无水夕卡岩阶段的产物。

金属矿物中,磁铁矿、镁磁铁矿和镁铁矿为铁(镁)氧化物阶段的产物,其形成时间大致相当于金云母、粒硅镁石和斜硅镁石等含水镁夕卡岩矿物。金属硫化物和金矿化的形成时间相对较晚,基本上和蛇纹石、斜绿泥石、石英和碳酸盐等晚期热液交代矿物一致,即属于碳酸盐(石英)-硫化物阶段的产物。

为了进一步确定成矿的时代,我们对含矿镁夕卡岩中的金云母测定了同位素年龄(K-Ar

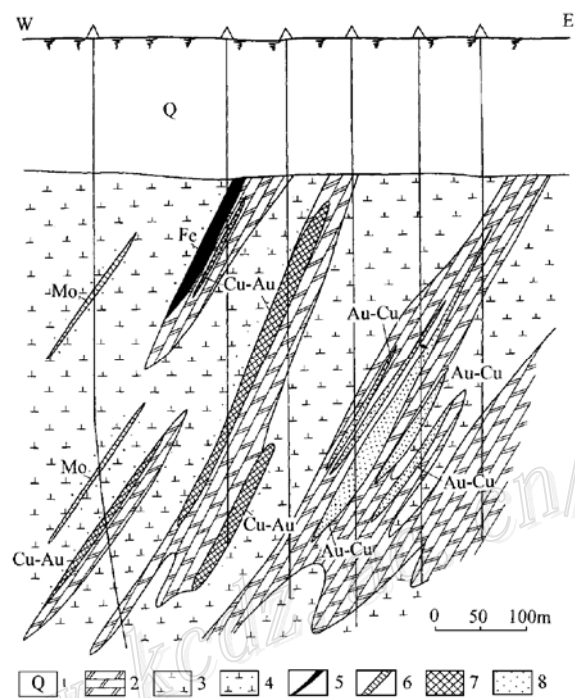


图3 秦楼镁夕卡岩金(铜、铁)矿床的金属矿化分带地质剖面

1—第四系浮土;2—上寒武统白云质大理岩;3—石英二长闪长玢岩;4—蚀变石英二长闪长玢岩;5—磁铁矿矿体;6—辉钼矿矿体;7—铜(金)矿体;8—金(铜)矿体

Fig. 3. Geological section of the Qinlou magnesian skarn Au (Cu, Fe) deposit, showing metallic zoning.

1—Quaternary regolith; 2—Upper Cambrian dolomitic marble; 3—Quartz monzodiorite porphyry; 4—Altered quartz monzodiorite porphyry; 5—Magnesioferrite orebody; 6—Molybdenite orebody; 7—Cu (Au) orebody; 8—Au (Cu) orebody.

稀释法), 其结果较理想, 为 $(134.32 \pm 1.95) \times 10^6 \text{a}$ ^①, 说明夕卡岩化和矿化发生在燕山中期, 比岩体主体石英二长闪长玢岩生成的时间稍晚。

表 2 三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床包裹体均一温度、盐度压力数据

Table 2. Homogenization temperature, salinity and pressure of fluid inclusions in Sanpu Au(Cu, Fe) magnesian skarn deposits

样号	岩石	矿物	包裹体个数	$t_{\text{均一}} / (^\circ\text{C})$	冰点 / $^\circ\text{C}$	$S_{\text{NaCl}} / \%$	$t_{\text{子晶消失}} / ^\circ\text{C}$	p / MPa
203-326	碳酸盐化、绿帘石化、硅化石英二长闪长玢岩	白云石	5	170~190	13.9~20.8	17.8~23.2		
		绿帘石	7	241~402	30.5~30.9	30.3~31.9		
		石英	6	176~267				
203-625	绿帘石化透辉石、石榴石夕卡岩	透辉石(早)	19	365~532	17.2~17.3	38.35~46.0	306~400	43~46
		透辉石(晚)	3	345~352		20.6		
203-564	金云母、透辉石夕卡岩	透辉石	15	431~565		48.1~51.6	421~456	29~32
07-514	蛇纹石化、磁铁矿化金云母透辉石夕卡岩	透辉石	17	420~595		47.9~50.1	419~440	48
07-447	蛇纹石化金云母粒硅镁石夕卡岩	透辉石	12	470~625		40.1~59.7	330~527	
07-500	金云母透辉石夕卡岩	透辉石(早)	13	431~610		49.0	430	40
		透辉石(晚)	2	342~349				

5 流体包裹体特征及其演化

5.1 包裹体均一温度和盐度

本次研究分别对透辉石、粒硅镁石、绿帘石、白云石、石英等矿物中流体包裹体进行了均一温度和盐度的测定, 共获得测温数据上百个(表 2)。从测温结果可以看出, 本区流体演化大致经历了 3 个阶段: 第 I 阶段相当于早期镁夕卡岩阶段, 包括了镁橄榄石、透辉石和内夕卡岩带的石榴石等无水夕卡岩矿物组合。此阶段温度范围为 400~625 $^\circ\text{C}$, 主要集中在 480~600 $^\circ\text{C}$ 之间(图 4); 第 II 阶段相当于含水镁(钙)硅酸盐阶段, 包括金云母、粒硅镁石、斜硅镁石、透闪石等含水镁夕卡岩矿物组合。研究表明, 这个阶段出现的主要金属矿物除磁铁矿外, 还有大量镁磁铁矿和镁铁矿, 温度范围为 340~450 $^\circ\text{C}$; 第 III 阶段相当于蛇纹石、碳酸盐化蚀变阶段, 主要形成自然金和黄铁矿、斑铜矿、黄铜矿等硫化物, 温度范围为 180~340 $^\circ\text{C}$ 。

三铺地区早期夕卡岩阶段包裹体主要赋存矿物为透辉石, 少量赋存于镁橄榄石、石榴石等矿物中。此阶段几乎 95% 包裹体都含有子矿物, 大多数包裹体含石盐子晶, 有些含钾盐或磁铁矿等不透明矿物。盐度范围为 38.35%~59.7%, 平均 44.1%, 为高温高盐度流体。含水镁(钙)硅酸盐阶段包裹体冰点为 -30.9~-30.5 $^\circ\text{C}$, 根据 NaCl-H₂O 的低共熔温度为 -21.2 $^\circ\text{C}$ 和 NaCl-KCl-H₂O 体系的低共熔温度 -22.9 $^\circ\text{C}$ (Hall et al, 1988)^[16], 推断本区流体成分可能是 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系。据合成包裹体实验数据 (D A Vanko. et al, 1988)^[17], 可求出此阶段盐度为 30.3%~31.0% NaCl, 大约含 10.5%~10.8% 的 CaCl₂。在图 5 中, 随流

① 测试工作由中国地质科学院地质研究所张思红完成

体温度下降, 盐度也相应降低, 当流体演化至碳酸盐-硫化物阶段时, 盐度范围为 17.8%~20.6%, 平均 19.2%, 金矿物的沉淀和流体演化主要与碳酸盐(石英)硫化物阶段关系密切。成矿温度范围大致为 180~340℃。

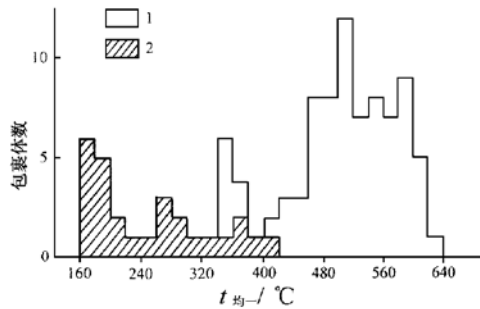


图 4 三铺地区流体包裹体均一温度直方图
1—第 I 阶段包裹体; 2—第 II、III 阶段包裹体

Fig. 4. Histograms of homogenization temperatures of fluid inclusions in Sanpu area.

1—Stage I fluid inclusions; 2—Stage II and III fluid inclusions.

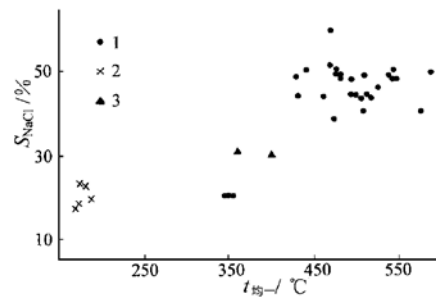


图 5 三铺地区流体包裹体均一温度-盐度关系图
1—透辉石; 2—白云石; 3—绿帘石

Fig. 5. Relationship between homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in Sanpu area.

1—Diopside; 2—Dolomite; 3—Epidote.

通过过饱和 NaCl 水溶液的等盐度 $p-t$ 截面图 (Erwood 等, 1979)^[18], 可求出本区富含子晶的包裹体形成压力为 32~63 MPa, 估算成矿深度大致为 2~3.5 km^[5]。

5.2 包裹体成分

三铺地区流体包裹体化学成分具有一定的演化规律 (表 3)。K⁺、Na⁺ 含量较高, 表明矿液具有高盐度的特征, 这与透辉石中包裹体含有以钠盐为主的子晶, 且含少量钾盐相吻合。矿液中 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子的含量高, 且 Ca²⁺/Mg²⁺ 比值自早至晚由小变大的特点, 也是造成本区流体盐度高, 成分复杂的原因, 也说明 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子在成矿中所起的重要作用。

随着成矿热液温度和盐度的逐渐降低, 溶液的酸碱度亦不断变化。本区自夕卡岩阶段→氧化物阶段→碳酸盐-硫化物阶段, 成矿溶液的 pH 值经历了弱酸性 (6.09)→酸性 (3.86)→弱碱性 (8.38) 的变化。其中磁铁矿的 pH 值可能偏高。

据包裹体气相成分计算的还原参数^[5,6]可以看出: 从早至晚, 还原参数均较低, 且由大变小, 反映成矿环境属弱还原环境。

根据包裹体气相成分, 结合温压条件, 利用李秉伦^[6]的“矿物中包裹体气相成分的物理化学参数图解”可得到氧逸度为 10⁻¹⁶~10⁻²⁵ Pa, 且从早至晚氧逸度有降低趋势。

5.3 流体演化模式

三铺地区流体包裹体均一温度和盐度的特征变化反映了流体的时空演化规律。

成矿流体从深部岩浆房中分异出来后, 上升至 2~3.5 km, 压力下降为 30~60 MPa。此时流体温度为 400~625℃或更高, 且盐度较高为 38.35%~59.7%, 相当于流体演化的早期镁夕卡岩阶段的温压条件, 此阶段包裹体富含石盐或少量钾盐等子晶, 反映了矿液盐度高, 富 Na⁺、K⁺ 的特点。由于含矿流体与镁质大理岩围岩的反应交代作用, 成矿流体温度下降 (340

表3 三铺地区流体包裹体、气相成分分析结果

Table 3. Liquid and gas composition of fluid inclusions in Sanpu area

成矿阶段	岩(矿)石名称	矿物	液相成分/10 ⁻⁶										pH
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	$\frac{K^+}{Na^+}$	$\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$	F/Cl	
夕卡岩阶段	石榴石夕卡岩	石榴石	4.75	4.02	27.74	74.96	0.55	2.81	>500	0.85	0.37	0.20	6.09
氧化物阶段	含铜磁铁矿石	磁铁矿	3.97	0.83	19.48	43.62	0.40	0.80	171.88	0.21	0.45	0.50	7.09
硫化物阶段	细粒白云石含金黄铁矿石	黄铁矿	1.07	0.76	70.32	31.30	91.32	2.62	—	0.71	2.25	34.85	3.12
	含金黄铁矿石	黄铁矿	1.56	0.86	>200	4.09	93.30	2.55	—	0.55	>48.9	36.59	3.86
碳酸盐+石英阶段	细粒白云石含金黄铁矿石	白云石	18.75	7.17	—	—	0.64	46.60	62.12	0.38	—	0.01	8.38
	石英白云石含金黄铁矿石	白云石	4.19	0.77	—	—	0.46	15.43	11.49	0.18	—	0.03	8.20
	细粒白云石含金黄铁矿石	石英	0.53	0.88	0.45	0.07	0.21	0.61	2.18	1.66	6.43	0.34	5.70
	石英白云石含金黄铁矿石	石英	0.23	0.22	0.45	0.20	0.007	0.29	1.72	0.96	2.25	0.02	5.80
成矿阶段	岩(矿)石名称	矿物	气相成分/10 ⁻⁶								还原参数	lgf _{O₂}	
			H ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂ O	$\frac{H_2O}{H_2}$	$\frac{CO_2}{CH_4}$			
夕卡岩阶段	石榴石夕卡岩	石榴石	0.77	6.25	4.46	0.00	58.92	972.5	1263.0	13.21	0.09	—16	
氧化物阶段	含铜磁铁矿石	磁铁矿	0.29	3.44	0.54	0.00	63.67	352.5	1215.5	117.91	0.01	—16	
硫化物阶段	细粒白云石含金黄铁矿石	黄铁矿											
	含金黄铁矿石	黄铁矿											
碳酸盐+石英阶段	细粒白云石含金黄铁矿石	白云石	5.65	1.56	0.00	16.25	—	2060.0	364.6	—	—	—	
	石英白云石含金黄铁矿石	白云石	11.81	0.00	0.00	12.50	—	1025.0	86.79	—	—	—	
	细粒白云石含金黄铁矿石	石英	0.062	8.13	0.00	19.64	1092.5	17621.0	22.07	0.05	—23	—	
	石英白云石含金黄铁矿石	石英	0.032	5.94	0.54	0.00	13.75	892.5	27890.6	25.46	0.04	—25	

注:中国地质科学院矿床地质研究所程莱仙、徐玉林测试

~450℃), 流体演化进入含水镁(钙)夕卡岩阶段, 形成大量磁铁矿、镁磁铁矿和镁铁等铁(镁)氧化物矿物组合。这是本区镁夕卡岩演化的一个重要成矿阶段。此阶段流体盐度仍较高, 为30.3%~31.0%NaCl, 10.5%~10.8%CaCl₂, 反映了本区流体成分复杂, 并非单一的NaCl-H₂O体系。当流体演化至碳酸盐(石英)-硫化物阶段, 包裹体以不含子晶的气液包裹体为主, 盐度明显降低, 为17.8%~20.6%NaCl, 温度降至180~340℃。流体中硫的化学势增高, 促使黄铁矿、黄铜矿及斑铜矿等金属硫化物和金矿物的沉淀, 构成重要的金、铜、钼的成矿阶段。

本区金属硫化物和金的成矿环境属弱还原条件, 成矿流体pH值从始至终的变化为弱酸性—酸性—弱碱性。

6 含金镁夕卡岩生成地质环境讨论

本区含金镁夕卡岩矿床产于中朝准地台——华北断拗区的上地幔柱隆起区。矿体赋存于燕山期石英二长闪长玢岩和中上寒武统白云岩的接触带,属活化地台型。其生成地质构造环境有其特殊性,它既不同于中塔吉克斯坦塔罗尔和美国蒙大那州 Butte Highlands 的镁夕卡岩金矿床,更不同于澳大利亚西部 Savage Laje 的含金镁夕卡岩矿床。

Блюхина (1984)^[19]曾报导过前苏联中塔吉克斯坦塔罗尔镁夕卡岩金矿床的形成地质环境和矿床地球化学特征,指出该区含金镁夕卡岩产于地槽褶皱带海西期花岗闪长岩类和中志留统白云质大理岩的接触带。镁夕卡岩由镁橄榄石、尖晶石、透辉石、金云母、斜硅镁石、硼镁铁矿等组成。金-硫化物矿石赋存于镁夕卡岩的退化热液蚀变岩——似滑石菱镁片岩和花岗闪长岩类的蚀变产物——黄铁绢英岩中。

美国蒙大那州的 Butte Highlands 含金镁夕卡岩也产于中生代地槽褶皱带闪长岩与下古生界结晶白云岩的接触带,主要由镁橄榄石和尖晶石组成,次为透辉石和金云母,叠加有蛇纹石、滑石、碳酸盐等退化热液蚀变矿物组合,并伴有金属硫化物和金矿化^[13]。

至于澳大利亚西部 Savage Laje 的含金镁夕卡岩矿床的形成地质环境更为特殊,它产于太古界中级变质绿岩带内的韧性剪切带,交代了叶片状变科马提岩。该绿岩带赋存于花岗闪长岩-花岗岩大岩基中。含金镁夕卡岩由铁橄榄石、透辉石、方解石、金云母、透闪石、富镁绿泥石和少量铁尖晶石组成,伴生的金属矿物有钛铁矿、磁铁矿、毒砂、自然金、磁黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿等^[12]。

由此可见,根据含金镁夕卡岩的产出构造环境,大致可划分出 3 类:①产出地台活化区的矿床;②产于地槽褶皱带的矿床;③产于太古界绿岩带的矿床。从矿物共生组合和矿化特征看,前两类矿床有一定相似性,即金和硫化物矿化均与镁夕卡岩期后的退化热液蚀变作用有关,属于酸性淋滤阶段的交代产物。当然不同矿床还有其特殊性。但第三类矿床的构造环境、围岩条件和生成方式则与前两类完全不同。

参 考 文 献

- 1 赵一鸣,林文蔚,毕承思等. 中国含金夕卡岩矿床的分布和主要地质特征. 矿床地质, 1997, 16 (3): 193~203.
- 2 任纪舜,姜春发,张正坤等. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 1980, 1~124.
- 3 刘福田,曲克信,吴华等. 中国大陆及其邻近地区的地震层析成象. 地球物理学报, 1989, 32 (3): 281~291.
- 4 赵一鸣,吴家善,韩发等. 陕西洛南地区镁夕卡岩型铁矿床的矿化蚀变特征和找矿标志. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1982, (第 1 号): 29~50.
- 5 Shepherd T J, Rankin A H, Alderton D H M 等 (英). 流体包裹体研究实践指南. 张恩世,张文淮,高怀忠等译. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990, 1~154.
- 6 李秉伦,石岗. 矿物包裹体气体成分的物理化学参数图解. 地球化学, 1986, (2): 126~137.
- 7 Ray G E, Ettlinger A D, Meinert L D. Gold skarns, their distribution, characteristics and problems in classification. In: Geological Fieldwork 1989, B. C. Ministry, Mines and Petroleum Resources, Paper 1990-1, 237~246.
- 8 Theodore G et al. Gold-bearing skarns. U. S. Geological Survey Bulletin 1930, Washington, 1991, 1~61.
- 9 Meinert L D. A review of skarns that contain gold. "Mineralized Interusion-related skarn systems". In Lentz, D R, ed. Mineralogical association of Canada short course series, 1998, 26, 359~414.

- 10 Ray G E. Au skarns, *Geological Fieldwork*, 1998, 24H-1~24H-4.
- 11 Earll F M. Mines and mineral deposits of the southern Flint creek Range, Montana. *Montana Bureau Mines Geol. Bull.* 1972, 84.
- 12 Mueller A G. The Savage lode magnesian skarn in the Marvel Loch gold-silver mine, Southern Cross greenstone belt, Western Australia, Part 1: Structural setting, petrography, and geochemistry. *Can. J. Earth Sci.*, 1991, 28: 659~685.
- 13 Ettlinger A D, Albers D, Fredericks R, Urbisnov S. The Butte Highlands project, Silver Bow County, Montana an olivine-rich magnesian gold skarn. In: Coyner A R, Tahey P L ed. of the American Cordillera. *Geol. Soc. Nevada*, 1996, Reno/Sparks 2, 1019~1033.
- 14 Debon F, Le Fort P. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations; *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 1983, 73: 135~149.
- 15 Deer W A, Howie R A, Zussman J. *Rock-forming minerals*. First edition, Longmans, 1962, 5: 1~371.
- 16 Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Econ. Geol.*, 1988, 83: 197~202.
- 17 Vanko D A, Bodnar R J, Sterner M A. Synthetic fluid inclusions; V. Vapor-saturated halite solubility in part of the system NaCl-NaCl₂-H₂O, with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermal systems. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1988, 52: 2451~2456.
- 18 Erwood R J, Kester S E, Cloke P L. Compositionally distinct, saline hydrothermal solutions. Naica Mine, Chihuahua, Mexico. *Econ. Geol.*, 1979, 74: 95~108.
- 19 Блохина Н А. Минералогия геохимия и условие образования золото-сульфидных месторождений в формации магнетитовых скарнов в Центральном Таджикистане. Издат. "Дониш", 1984, 1~256

THE METALLOGENIC GEOLOGICAL SETTING, ZONATION AND FLUID EVOLUTION OF THE Au (Cu, Fe) MAGNESIAN SKARN DEPOSITS IN SANPU AREA, ANHUI PROVINCE

Zhao Yiming, Zhang Yinan, Bi Chengsi

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Tang Kaijian, Sun Qingan

(No. 325 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources)

Key words: magnesian skarn deposit, geological setting, zoning, evolution of fluid, Sanpu area

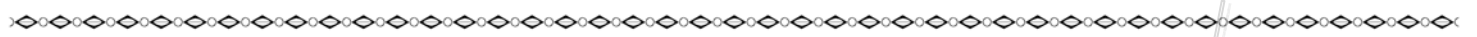
Abstract

Au skarns in the world are mostly calcic ones, and magnesian Au skarns are rarely seen. In this paper, the geological and geochemical characteristics of the Au (Cu, Fe) magnesian skarn deposits in Sanpu area, Anhui Province, are described. The Au (Cu, Fe) magnesian skarn deposits of Sanpu area occur in the exocontact zones between Yanshanian quartz monzodiorite porphyry and Middle-Upper Cambrian dolomitic marble of the platformal fault depression zone and are located just in the upper mantle uprise.

(下转第 36 页 to be continued on p. 36)

porphyry. The Qiyugou and Fubagou small-size gold deposits occur in breccia pipe in quartz porphyry and the surrounding active fissures. On the basis of geological and petrographical studies, these intermediate-acidic intrusives are considered as subvolcanic hypabyssal stocks. Orebodies are directly controlled mainly by the cryptoexplosion breccia pipe and secondarily by related fractures, which are composed of breccia and stockwork ores.

In the above-mentioned porphyry deposits, alunite was discovered in Zijinshan while adularia was found in Tuanjiegou, Qiyugou and Yixingzhai. In the large-size deposits, alunite or adularia alteration is in the planar and annular form. The existence of alunite or adularia in the breccia/stockwork-porphyry gold deposits is an important factor in understanding the geological mode of occurrence of adularia-sericite and alunite-kaolinite alteration mineral assemblages and the relationship between the epithermal porphyry type and the epithermal vein type gold deposits and in elucidating their genesis.



(上接第 10 页 continued from p. 10)

Magnesian skarns consist of diopside, forsterite, phlogopite, chondrodite, clinohumite, and have been subjected to strong serpentinization, clinochloritization and carbonitization associated with iron, gold and copper sulfide mineralization. In the endocontact zones, there are diopside-garnet-epidote calcic skarns associated with K-feldspathization of adjacent quartz monzodiorite porphyry. Locally, molybdenite mineralization occurs in the fractural zones of the K-feldspathized quartz monzodiorite porphyry.

The mineralization zoning in some deposits is very clear. The zonal sequence from altered quartz monzodiorite porphyry through magnesian skarn to serpentinized dolomitic marble is Mo→Fe→Cu (Au) →Au (Cu).

Studies of the mineral paragenesis and fluid inclusions suggest that the metasomatic mineralization may be divided into three stages: ①magnesian (calcic) skarn stage; ②iron (magnesian) oxide stage forming magnetite, magnesiomagnetite and magnesioferrite; ③ carbonate (quartz) sulfide and gold mineralization stage. The formation temperature of magnesian skarn stage is 400°C~625°C with salinities of 38.4~59.7%NaCl. The last two stages correspond to the retrograde hydrothermal metasomatic stage of the early magnesian skarns. The formation temperatures of these two stages are 180°C~450°C with salinities of 17.8~31wt% NaCl. The pressure of the petrogenesis and metallization is from 23.6 MPa to 612.9MPa.