

安徽铜陵地区含磁黄铁矿-黄铜矿 角闪石巨晶的首次发现*

秦新龙^{1,2} 杜杨松^{1,3} 田世洪¹ 李铨具⁴ 尹京武^{1,4} 金尚中⁴

1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 华东地质勘查局, 南京 210007; 3. 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083; 4. 韩国忠南大学校自然科学大学地质学科, 大田 305764

摘要 对安徽铜陵曹山中生代辉石闪长玢岩中新发现的含磁黄铁矿-黄铜矿的角闪石巨晶进行了系统分析. 岩相学和矿物学研究表明, 巨晶角闪石主要为镁绿钙闪石和韭闪石, 具幔源角闪石成分特征, 结晶于下地壳. 磁黄铁矿-黄铜矿集合体多数呈圆柱状形态, 在角闪石巨晶中呈平行线状、束状和散点状分布, 成分上相对富S但特别贫Ni, 是角闪石巨晶亚固相重新平衡的出溶产物. 巨晶中FeO和Na₂O, MgO的变化与硫化物的含量相关. 该发现对区域岩浆-成矿作用机制及成矿物质来源研究有重要启示.

关键词 角闪石巨晶 磁黄铁矿-黄铜矿 安徽铜陵

自Sharp和White分别在金刚石和地幔包体中发现硫化物以后^[1,2], 人们陆续对榴辉岩、尖晶石二辉橄榄岩和玄武岩及矿物巨晶中的硫化物进行了研究^[3,4]. 实验表明^[5], 硫在玄武质硅酸盐熔体中的溶解度受制于硫氧的逸度 f_S , f_{O_2} , P , T 及熔体中FeO的含量.

我国东部新生代碱性玄武岩中的辉石巨晶数量可观, 并含有较多的硫化物^[6~8], 黄婉康和Guo等^[9,10]对这些硫化物作了详细研究, 并探讨了其成因. 比较起来, 角闪石巨晶数量较少, 主要为镁绿钙闪石、含亚铁韭闪石和钛角闪石^[6~8,11], 且极少出现硫化物.

国内外报道的巨晶绝大多数产于基性或超基性岩中. 对产于中偏基性岩浆岩中的巨晶虽有报道, 但未作深入研究^[12,13]. 笔者在对安徽铜陵曹山辉石闪长玢岩的研究中, 发现了含磁黄铁矿-黄铜矿的角闪石(及辉石)巨晶.

1 地质背景

安徽铜陵地区位于我国长江中、下游铜-铁-金

成矿带的中段. 区内中生代岩浆活动强烈, 发育了一系列具壳幔混源特征的高钾富碱中-酸性侵入岩^[13,14]. 在这些侵入岩中产有种类丰富、数量可观的岩石包体和矿物巨晶.

曹山岩体位于铜陵狮子山铜、金矿田内. 岩体呈小岩枝状侵入于青山背斜北东段南东翼中、下三叠统地层中. 主要由石英二长闪长岩和辉石二长闪长岩组成, 后者是Fe, Cu硫化物矿床的成矿母岩之一, 其边缘相岩石为辉石闪长玢岩. 该岩体的形成时代与毗邻的白芒山岩体(137 Ma, 全岩K-Ar稀释法^[13])基本一致.

所研究的巨晶样品都采自曹山辉石闪长玢岩, 岩石呈暗灰绿色, 具斑状(多斑)结构. 斑晶成分主要为斜长石($An = 42\% \sim 45\%$)、辉石(8%~10%), 次为角闪石(4%~5%)、黑云母(1%~2%)和钾长石(约1%)及极少量的石英. 基质由以斜长石为主的细-微晶矿物组成. 副矿物有磁铁矿(1%~2%)、磷灰石和少量绿帘石. 岩石化学分析结果显示为中偏基性的碱性岩($SiO_2 = 52.86\%$, $Na_2O = 3.95\%$, $K_2O = 2.54\%$).

2001-11-17收稿, 2002-03-13收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40133020, 49872025)、国家重大基础研究发展规划(批准号: G1999043206)及韩国科学与工程基金(批准号: KOSEF-20005-131-03-02)联合资助项目

E-mail: qinxinlong@sina.com

2 角闪石巨晶特征

角闪石巨晶呈棕褐色-褐色，多数为柱状。大小一般在0.5 cm×0.8 cm~1.4 cm×3.1 cm，个别达5.1 cm×10.2 cm。巨晶都呈单体产出，未见连晶现

象。根据国际矿物协会角闪石小组委员会提出的分类命名方案^[15]，曹山角闪石巨晶的类型主要为镁绿钙闪石和韭闪石，个别为含亚铁韭闪石(表1)。所有巨晶均具幔源角闪石成分特征(图1)^[16]，反映它们是在高压下形成的^[8]。

表1 曹山角闪石巨晶的电子探针分析结果及阳离子系数

测试点	w/%													总和
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CoO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	
CS-1-1-7	42.40	2.30	12.83	0.03	10.46	0.00	14.57	—	—	11.85	2.41	1.40	0.00	98.25
CS-1-2-4	41.98	2.48	12.06	0.04	11.50	0.04	14.12	0.08	0.00	10.70	1.81	1.38	0.53	96.72
CS-1-3-3	40.75	2.48	13.64	0.11	12.95	0.14	12.60	0.00	0.09	10.82	1.60	1.42	0.41	97.01
CS-2-1-1	40.78	2.46	13.74	0.01	11.46	0.12	13.72	—	—	11.93	2.21	1.32	—	97.74
CS-3-1-2	41.20	2.89	14.17	0.00	13.13	0.01	12.52	—	—	11.66	1.93	1.17	0.00	98.68
CS-4-1*	42.24	2.54	12.08	0.00	10.22	0.31	14.88	0.00	0.00	10.80	2.49	1.42	0.38	97.36
CS-7-1-2	41.21	2.28	12.99	0.02	10.20	0.12	14.80	—	—	11.81	2.34	1.55	—	97.32
CS-9-1-4	42.32	2.25	12.96	0.00	11.34	0.00	14.20	0.41	0.06	11.11	2.27	1.11	0.38	98.41
CS-11-1*	41.99	2.41	12.68	0.27	10.14	0.27	15.21	0.00	0.00	10.84	2.02	1.55	0.38	97.76

以氧为23计算的阳离子系数

T	C							B					A			
Si	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Cr	Fe ³⁺	Ti	Mg	Fe ²⁺	Fe ²⁺	Mn	Co	Ni	Ca	Na	Ca	Na	K
6.18	1.82	0.38	0.00	0.20	0.25	3.16	1.00	0.07	0.00	—	—	1.85	0.08	0.00	0.60	0.26
6.21	1.79	0.32	0.01	0.47	0.28	3.12	0.81	0.14	0.00	0.01	0.00	1.70	0.16	0.00	0.36	0.26
6.05	1.95	0.43	0.01	0.53	0.28	2.79	0.96	0.12	0.01	0.00	0.01	1.72	0.15	0.00	0.31	0.27
5.99	2.01	0.36	0.00	0.36	0.27	3.00	1.00	0.05	0.01	—	—	1.88	0.07	0.00	0.56	0.25
6.00	2.00	0.43	0.02	0.35	0.32	2.72	1.17	0.08	0.00	—	—	1.82	0.10	0.00	0.45	0.22
6.20	1.80	0.29	0.02	0.38	0.28	3.26	0.75	0.12	0.02	0.00	0.00	1.70	0.16	0.00	0.55	0.27
6.05	1.95	0.30	0.00	0.33	0.25	3.24	0.86	0.06	0.01	—	—	1.86	0.08	0.00	0.59	0.29
6.18	1.82	0.40	0.00	0.39	0.25	3.09	0.87	0.12	0.00	0.05	0.01	1.74	0.14	0.00	0.50	0.21
6.11	1.89	0.28	0.03	0.52	0.26	3.30	0.59	0.13	0.02	0.00	0.00	1.69	0.16	0.00	0.41	0.29

注：带*号者不含硫化物；FeO为全铁含量。角闪石巨晶成分由中国地质大学电子探针实验室JXA-733型电子探针仪测定(能谱)；分析人：李树岩；测试条件：加速电压15 kV，电流 2×10^{-8} A，WDS=1 μm。SiO₂，TiO₂，Al₂O₃，Cr₂O₃，FeO，MnO，MgO，CaO，Na₂O，K₂O，P₂O₅分别由石英，金红石，斜长石，铬铁矿，铁铝榴石，蔷薇辉石，方解石，钠长石，透长石，磷灰石作标样；CoO，NiO为100%元素标样；分析误差±2%

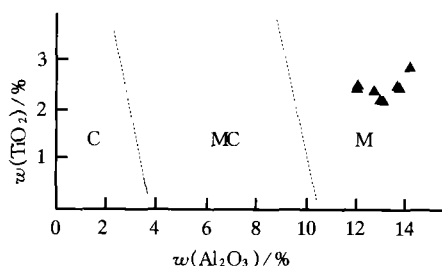


图1 角闪石的TiO₂-Al₂O₃图解^[16]

C为亮源；MC为亮幔混源；M为幔源；w为质量分数

从成分上看，曹山角闪石巨晶与我国东部新生代碱性玄武岩中的角闪石巨晶类似^[6~8,17]，主要氧

化物含量与广东麒麟的角闪石巨晶更为接近，但相对富SiO₂，MgO而贫TiO₂，Al₂O₃。

值得注意的是，曹山辉石闪长玢岩的角闪石斑晶有镁绿钙闪石和含亚铁韭闪石两种(表2)。镁绿钙闪石斑晶一般呈不规则多边形-三角形，是同类型巨晶的碎块或蚀变残留物，占角闪石斑晶总量的5%~10%。含亚铁韭闪石斑晶具菱形和长柱状两种晶形，其主要氧化物含量稳定，TiO₂和FeO普遍高于巨晶角闪石，但这类斑晶中未见硫化物。

显然，角闪石巨晶和含亚铁韭闪石斑晶是在不同的物理化学条件下结晶的，巨晶结晶时的硫逸度和氧逸度更高。

表2 曹山辉石闪长玢岩角闪石斑晶的电子探针分析结果

测试点	w/%													
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CoO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总和
CS-1-11*	40.818	2.410	13.341	0.020	10.420	0.096	14.505	—	—	12.051	2.287	1.491	—	97.439
CS-1-14	39.974	3.095	13.830	0.028	12.625	0.172	12.333	—	—	11.851	2.294	1.255	—	97.457
CS-1-18	40.339	3.360	13.705	0.009	12.457	0.197	12.610	—	—	12.217	2.524	0.702	—	98.120
CS-2-7	40.639	3.922	12.369	0.013	12.875	0.349	11.715	—	—	11.314	2.430	1.564	—	97.190
CS-3-6	40.131	3.050	13.432	0.000	13.018	0.211	12.386	—	—	11.791	2.517	1.256	—	97.792
CS-3-9*	40.781	2.521	13.067	0.006	11.049	0.121	14.417	—	—	11.820	2.366	1.344	—	97.492
CS-7-3	41.775	3.831	11.391	0.012	12.932	0.355	12.648	—	—	11.341	2.441	1.352	—	98.078
CS-7-7	41.002	2.421	13.456	0.013	11.545	0.111	14.008	—	—	11.989	2.268	1.544	—	98.357
CS-7-10	40.141	2.572	13.729	0.000	12.206	0.154	12.890	—	—	11.946	2.202	1.491	—	97.331

注:带*号为镁绿钙闪石.角闪石斑晶成分由中国地质科学院电子探针实验室 JXA-8800R 型电子探针仪测定(波谱);分析人:余静;测试条件:加速电压 20 kV, 电流 2×10^{-8} A, WDS=1 μ m. SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O 分别由正长石, 金红石, 斜长石, Cr₂O₃, Fe₂O₃, MnO, 橄榄石, 硅灰石, 钠长石, 正长石作标样;分析误差 $\pm 2\%$

3 磁黄铁矿-黄铜矿特征

曹山角闪石巨晶中的磁黄铁矿-黄铜矿(主要是磁黄铁矿)集合体大多呈圆柱状,也有呈球粒状者.多数矿物排列较规则,主要的排列方式有以下3种:(1)平行线形排列:磁黄铁矿-黄铜矿集合体呈圆柱状,柱体两端呈弧形或半圆形,直径约0.01 mm,长度在0.05~0.4 mm.矿物沿长轴方向呈线形断续延伸,彼此间近于平行排列,线距在0.02~0.04 mm,最大达0.2 mm(图版 I-A).(2)束状排列:磁黄铁矿-黄铜矿集合体呈短柱状-球粒状,矿物颗粒边缘光滑,粒径大多在0.004 mm \times 0.006 mm~0.006 mm \times 0.015 mm,少数小于0.003 mm \times 0.004 mm.矿物沿

长轴方向呈线状-弧线状点阵式排列,组合成束状,其末端的颗粒往往变大呈椭球状,粒径可达0.015 mm \times 0.030 mm \pm (图版 I-B).(3)散点状:磁黄铁矿-黄铜矿呈球粒状-短柱状及不规则状,矿物粒度变化较大,粒径在0.008 mm \times 0.020 mm~0.015 mm \times 0.080 mm.矿物呈散点状分布于主晶的一定区域内,局部较集中(图版 I-C).

黄铜矿在硫化物中的含量 $<10\%$,通常有两种赋存形式:(1)呈不规则状嵌布于磁黄铁矿内或环绕在其四周,粒径小于0.005 mm \times 0.05 mm;(2)呈独立的柱状或球粒状体,粒径在0.008 mm \times 0.10 mm以下,部分颗粒内嵌布细条带状磁黄铁矿.反射光下,黄铜矿与磁黄铁矿差别明显,两者不混溶.

表3 曹山角闪石(及辉石)巨晶中磁黄铁矿电子探针分析结果

测试点	w/%												
	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Te	Au	Ag	Sb	总和
CS-1-1-1	39.40	59.58	0.00	0.39	0.00	0.00	0.17	0.16	0.06	0.05	0.04	0.16	100.01
CS-1-1-4	39.07	57.87	0.20	0.25	0.46	0.92	0.12	0.33	0.07	0.00	0.37	0.35	100.01
CS-2-1-2	41.15	58.01	0.01	0.29	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.44	0.00	100.00
CS-7-2-2	39.58	59.81	0.00	0.16	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.24	0.17	0.00	100.01
CS-1-2-1*	40.621	60.182	0.155	0.095	0.010	0.009	0.006	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	101.101
CS-1-3-4*	40.639	60.580	0.209	0.020	0.000	0.000	0.000	0.016	0.025	0.000	0.000	0.000	101.489
CS-7-1-1*	40.062	60.245	0.122	0.083	0.000	0.000	0.000	0.021	0.007	0.139	0.000	0.000	100.679
CS-7-3-1*	40.371	59.312	0.205	0.171	0.018	0.014	0.008	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	100.106
CS-9-1-1*	40.781	59.564	0.107	0.470	0.023	0.000	0.009	0.000	0.008	0.149	0.012	0.003	101.126
CS-3-2-3	47.29	51.86	0.00	0.00	0.57	0.00	0.01	0.25	0.01	0.00	0.03	0.00	100.02
CS-3-2-4	47.27	52.19	0.00	0.11	0.21	0.13	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.00	100.01

曹山角闪石(及辉石)巨晶中黄铜矿电子探针分析结果

测试点	w/%												
	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Te	Au	Ag	Sb	总和
CS-1-1-3	34.60	29.71	0.27	0.23	33.44	0.00	0.75	0.41	0.20	0.00	0.22	0.19	100.02
CS-1-2-2	34.57	30.44	0.07	0.00	33.75	0.00	0.70	0.46	0.00	0.00	0.02	0.00	100.01
CS-1-3-2	34.50	30.35	0.00	0.06	33.12	0.26	0.75	0.20	0.45	0.00	0.02	0.31	100.02
CS-2-1-4	34.74	29.80	0.10	0.04	33.92	0.09	0.76	0.16	0.04	0.00	0.00	0.36	100.01
CS-7-1-2	35.35	32.84	0.00	0.06	31.12	0.14	0.07	0.00	0.08	0.00	0.37	0.00	100.03
CS-7-3-2*	34.988	31.182	0.038	0.053	32.409	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.008	0.003	98.685
CS-9-1-2*	36.340	30.384	0.025	0.000	33.425	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.044	0.000	100.222
CS-3-2-2*	35.785	30.166	0.024	0.006	32.944	0.000	0.012	0.020	0.008	0.000	0.232	0.000	99.197

曹山角闪石(及辉石)巨晶中磁黄铁矿、黄铜矿分子式

续表

磁黄铁矿分子式	黄铜矿分子式
Fe _{0.8650} Ni _{0.0054} Au _{0.0002} Ag _{0.0003} Sb _{0.0011} As _{0.0018} Se _{0.0016} Te _{0.0004} S _{0.9961}	Cu _{0.4803} Fe _{0.4855} Co _{0.0042} Ni _{0.0036} Ag _{0.0019} Sb _{0.0014} As _{0.0091} Se _{0.0047} Te _{0.0014} S _{0.9847}
Fe _{0.8461} Co _{0.0028} Ni _{0.0035} Cu _{0.0059} Zn _{0.0115} Ag _{0.0028} Sb _{0.0023} As _{0.0013} Se _{0.0034} Te _{0.0004} S _{0.9948}	Cu _{0.4858} Fe _{0.4986} Co _{0.0011} Ag _{0.0002} As _{0.0085} Se _{0.0053} S _{0.9861}
Fe _{0.8094} Co _{0.0001} Ni _{0.0039} Cu _{0.0011} Ag _{0.0032} Se _{0.0001} S _{0.9999}	Cu _{0.4773} Fe _{0.4977} Ni _{0.0009} Zn _{0.0036} Ag _{0.0002} Sb _{0.0023} As _{0.0092} Se _{0.0023} Te _{0.0032} S _{0.9853}
Fe _{0.8677} Ni _{0.0022} Zn _{0.0006} Au _{0.0010} Ag _{0.0013} S _{1.0000}	Cu _{0.4871} Fe _{0.4870} Co _{0.0015} Ni _{0.0006} Zn _{0.0013} Sb _{0.0027} As _{0.0093} Se _{0.0018} Te _{0.0003} S _{0.9886}
Fe _{0.8505} Co _{0.0021} Ni _{0.0013} Cu _{0.0001} Zn _{0.0001} As _{0.0001} Se _{0.0002} S _{0.9997}	Cu _{0.4436} Fe _{0.5327} Ni _{0.0009} Zn _{0.0019} Ag _{0.0031} As _{0.0008} Te _{0.0006} S _{0.9986}
Fe _{0.8557} Co _{0.0028} Ni _{0.0003} Se _{0.0002} Te _{0.0002} S _{0.9997}	Cu _{0.4674} Fe _{0.5117} Co _{0.0006} Ni _{0.0008} Ag _{0.0001} S _{1.0000}
Fe _{0.8633} Co _{0.0017} Ni _{0.0011} Au _{0.0006} Se _{0.0002} S _{0.9997}	Cu _{0.4641} Fe _{0.4801} Co _{0.0004} Ag _{0.0004} S _{1.0000}
Fe _{0.8435} Co _{0.0028} Ni _{0.0023} Cu _{0.0002} Zn _{0.0002} As _{0.0001} S _{0.9999}	Cu _{0.4644} Fe _{0.4838} Co _{0.0004} Ni _{0.0001} Ag _{0.0019} As _{0.0001} Se _{0.0002} Te _{0.0001} S _{0.9996}
Fe _{0.8386} Co _{0.0014} Ni _{0.0063} Cu _{0.0003} Au _{0.0006} Ag _{0.0001} As _{0.0001} S _{0.9999}	
Fe _{0.6283} Cu _{0.0061} Ag _{0.0002} As _{0.0001} Se _{0.0021} Te _{0.0001} S _{0.9977}	
Fe _{0.6337} Ni _{0.0013} Cu _{0.0022} Zn _{0.0013} Ag _{0.0003} Se _{0.0004} Te _{0.0001} S _{0.9995}	

注:带*号为波谱分析样品;CS-3-2为辉石巨晶;样品成分:(能谱)测试单位和条件同表1.磁黄铁矿和黄铜矿分别由黄铁矿和黄铜矿作标样;Co, Ni, As, Se, Te, Au, Ag为100%元素标样;Sb, Zn分别由辉铋矿和闪锌矿作标样;探针灵敏度=0.01%.(波谱)测试单位和条件同表2.磁黄铁矿,黄铜矿和Zn分别由黄铁矿,黄铜矿和闪锌矿作标样;Co, Ni为100%元素标样;As, Se, Te, (Au, Ag), Sb则分别由人工合成的FeAs₂, CuSe, PbTe, (Au-Ag), AgSbS₂作标样;分析误差±2%

与国内外辉石等巨晶中硫化物成分相比^[4,7,9,10],曹山角闪石(及辉石)巨晶中的磁黄铁矿和黄铜矿相对富S,但微量元素含量偏低(表3),尤其贫Ni,其含量仅为前者的1/40~1/4,最高不超过0.5%.辉石巨晶中铁硫化物成分已接近黄铁矿.此外,个别角闪石巨晶的硫化物柱体中偶见短柱状方铅矿(Pb 84.66%, S 13.05%, As 0.21%, Fe 0.83%, Co 0.60%, Te 0.5%, Sb 0.15%, Cd 0.02%).

角闪石巨晶中规则排列的磁黄铁矿-黄铜矿集合体,延伸方向往往呈一定角度与(110)解理面斜交(轴线与解理面法线夹角在5°~75°),而不沿解理缝分布,矿物颗粒(包括散点状分布的硫化物)间无平行的微裂隙;延伸长度一般不超过1.5mm,严格限制在晶体内部;而且,在一个巨晶中常发育数组不同方向、不同方式排列的磁黄铁矿-黄铜矿(图版I-D).相反,寄主岩中只散布黄铁矿、磁铁矿及少量黄铁矿脉.种种特征表明,巨晶中的硫化物来源于矿物本身,是巨晶亚固相重新平衡的出溶产物,而不是后期成矿热液交代的结果.

4 巨晶成分与硫化物的关系

当巨晶中含有硫化物,特别是硫化物的含量较高时(0.5%~1.5%),硫化物对巨晶中主元素含量有较大影响.结合巨晶电子探针分析结果发现:(1)巨晶中硫化物含量较高时,对应主晶中FeO含

量也相应较高,且随FeO的升高,Na₂O, MgO含量降低,尤其是Na₂O降幅较大.(2)除个别样品外,含硫化物的角闪石巨晶中FeO含量普遍高于不含硫化物的巨晶,且两者相比,同样具有FeO上升,而Na₂O, MgO下降之特征.由此可见,FeO稍高而Na₂O, MgO略低是含硫化物角闪石巨晶的成分特征之一,这与我国东部含硫化物辉石巨晶的成分特征类似^[9].

5 讨论

利用Helz的角闪石温度计^[18]和赵海玲所作角闪石的SiO₂与压力关系图解^[1],计算出角闪石巨晶结晶时的温度在885~970℃之间,压力为0.574~0.807GPa,换算成深度(0.1GPa≈3.3km)在18.94~26.63km.根据唐永成等对本区中生代地壳层圈的划分^[13],本区的下地壳深度为18~32km.可见,巨晶角闪石结晶于下地壳.

与我国东部角闪石巨晶形成时的温、压(T为780~950℃,P为0.85~1.1GPa)相比^[8],曹山角闪石巨晶的结晶温度与华南地区的相当,而压力是最小的,但变化范围最大.

已有的研究表明^[13,14],长江中、下游地区,特别是安徽铜陵地区与硫化物矿床有关的中生代岩浆岩,具有壳幔混源成分特征(部分岩体中幔源物质成分含量在14.3%~39.1%),其形成过程与幔源碱性玄武岩浆的活动和演化关系密切.周珣若等则

1) 赵海玲.广东普宁县麒麟上地幔岩包体及其寄主玄武岩的研究,中国地质大学(北京),硕士学位论文,1983

认为^[12], 铜陵地区岩浆岩中的矿物巨晶是由侵入下地壳的玄武质岩浆结晶分异形成的。可见, 结晶于下地壳的角闪石巨晶在幔源岩浆的活动和演化过程中会被携带至近地表; 由于温度和压力的下降, 导致巨晶中所含的硫化物固溶体因亚固相重新平衡而出溶。

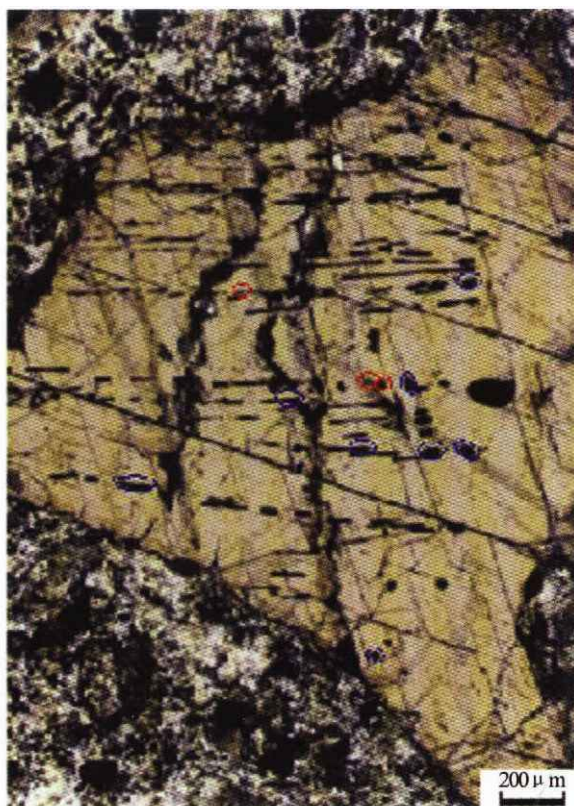
本区角闪石(及辉石)巨晶中磁黄铁矿、黄铜矿等硫化物的发现表明, 此类巨晶的母岩浆中溶解了一定数量的硫, 局部硫的含量相当高。根据巨晶中硫化物的含量, 参照 Mysen 等所做的硫在 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ 和 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 硅酸盐熔体中的溶解度实验得出的结果^[19], 计算得出岩浆中所溶解的硫最多可达 $0.5\% \pm$ 。硫在角闪石(及辉石)成分硅酸盐熔体中的溶解和析出, 正是与此类岩浆有关的硫化物矿床形成过程的缩影。因此, 对铜陵地区角闪石巨晶及其所含硫化物的进一步研究可以深入了解本区下地壳中硫的地球化学行为, 也必将为探讨区内中生代壳幔岩浆演化、铁铜硫化物矿床的成矿作用及其物质来源提供新的信息。

当然, 与含磁黄铁矿-黄铜矿角闪石巨晶有关的问题还很多, 如磁黄铁矿-黄铜矿呈圆柱状形态的成因、与角闪石巨晶的微结构关系, 亚固相出溶过程, 包括与角闪石巨晶成因有关的玄武质岩浆的演化过程、侵位时代及其与区域成岩作用和成矿演化过程的相互关系等, 都是值得今后进一步研究的课题。

致谢 野外工作得到安徽省国土资源厅储国正高级工程师、321地质队张成火高级工程师和铜陵朝山金矿刘光华总工程师的大力支持; 室内鉴定、测试得到中国地质大学肖荣阁、罗照华教授和李树岩老师, 中国地质科学院余静老师、北京大学舒桂明老师的热情帮助, 在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

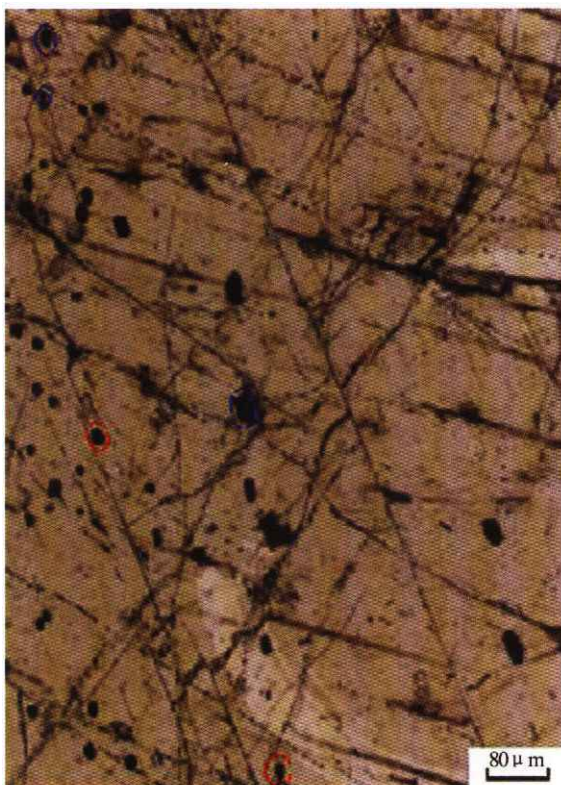
- 1 Sharp W E. Pyrrhotite: A common inclusion in South African diamonds. *Nature*, 1966, 211: 402
- 2 White R W. Ultramafic inclusion in basaltic rocks from Hawaii. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1966, 12: 245
- 3 Bishop F C, et al. Pentlandite-magnetite intergrowth in De Beers spinel lherzolite: Review of sulfide in nodules. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1975, 9: 323
- 4 Peterson R, et al. The origin of sulfide inclusions in pyroxene megacrysts. *American Mineralogist*, 1977, 62: 1049
- 5 Haughton D R, et al. Solubility of sulfur in mafic magmas. *Economic Geology*, 1974, 69: 451
- 6 周新民, 等. 我国东南沿海碱性玄武质岩石中辉石和角闪石巨晶. *矿物学报*, 1982, 1: 13
- 7 臧启家. 宽甸黄椅山碱性玄武岩中巨晶矿物和巨晶矿物中陨硫铁的发现及研究. 见: *地质研究论文集*. 北京: 北京大学出版社, 1985. 95
- 8 池际尚. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究(附金伯利岩). 北京: 中国地质大学出版社, 1987. 84~107
- 9 黄婉康, 等. 辉石巨晶中的硫化物及其成因. *矿物学报*, 1987, 7(2): 121
- 10 Guo J F, et al. Geochemistry and origin of sulphide minerals in mantle xenoliths: Qilin, Southeastern China. *Journal of Petrology*, 1999, 40(7): 1125
- 11 Chung S L, et al. Origin of clinopyroxene and amphibole megacrysts in the alkali basaltic rocks from western Taiwan as constrained by REE geochemistry. *Proceedings of the Geological Society of China*. 1990, 33(3): 177
- 12 周珣若, 等. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学. *岩石矿物学杂志*, 1993, 12(1): 20
- 13 唐永成, 等. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1998. 1~331
- 14 翟裕生, 等. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社, 1992. 1~235
- 15 Leake B E. Nomenclature of amphiboles. *Mineralogical Magazine*, 1978, 42: 533
- 16 姜常义, 等. 论火成岩中钙质角闪石的化学组成及其岩石学意义. *矿物岩石*, 1984, 2: 1
- 17 路凤香. *地幔岩石学*. 北京: 中国地质大学出版社, 1988. 81~105
- 18 Helz R T. Phase relations of the basalts in their melting range of $P_{\text{H}_2\text{O}} = 5 \text{ kb}$ as a function of oxygen fugacity: Part II: Melt compositions. *Journal of Petrology*, 1973, 17: 139
- 19 Mysen B O, et al. Solubility of sulfur in $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ and $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ melts at high pressure and temperature with controlled f_{O_2} and f_{S_2} . *American Journal of Science*, 1980, 280: 78



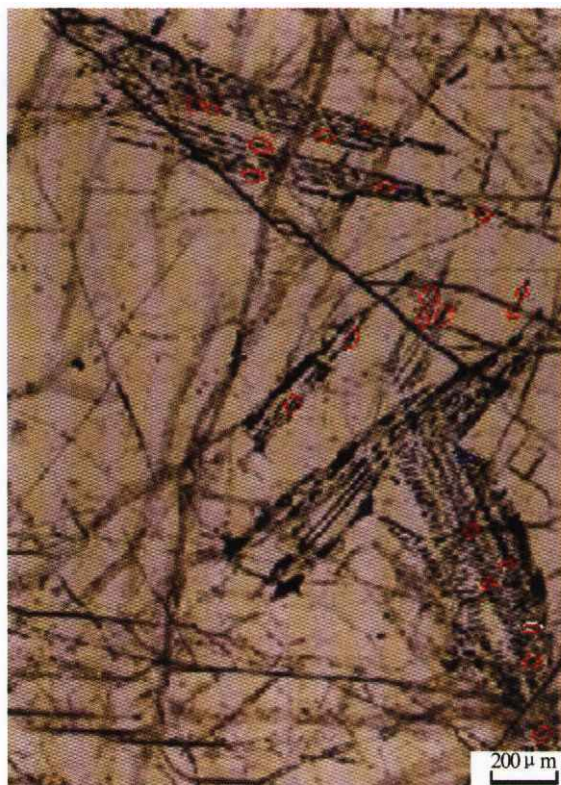
A 角闪石巨晶中平行线形排列的磁黄铁矿-黄铜矿
(红色圈内为单个黄铜矿, 绿色圈内为黄铜矿嵌布于磁黄铁矿中或环绕在其四周, 其他的照片同此)
(单偏光, 样品号: CS-1-2)



B 角闪石巨晶中束状排列的磁黄铁矿-黄铜矿
(单偏光, 样品号: CS-1-3)



C 角闪石巨晶中散点状分布的磁黄铁矿-黄铜矿
(单偏光, 样品号: CS-2)



D 角闪石巨晶中不同方向、不同方式排列的磁黄铁矿-黄铜矿
(单偏光, 样品号: CS-7)