

铜陵东狮子山铜矿床地质特征及 成岩成矿机理研究^{*}

凌其聪 程惠兰

陈邦国

(中国地质大学, 武汉)

(安徽狮子山铜矿, 铜陵)

提 要: 铜陵东狮子山铜矿为一夕卡岩矿床, 但与常见的夕卡岩矿床明显不同。在产状方面, 夕卡岩与围岩(大理岩)界线截然, 围岩出现重结晶褪色边, 夕卡岩边缘有淬火边, 与夕卡岩相接触的辉石二长闪长岩出现烘烤褪色边, 夕卡岩中出现辉石二长闪长岩角砾; 在矿物组成上, 具特殊的钾长石+方解石+石英囊状体, 其内矿物边界规则, 无分带现象, 夕卡岩矿物无交代现象; 在结构构造方面出现特征的海绵陨铁结构、豆状构造、流动构造等; 在地球化学方面, 夕卡岩岩石的微量元素、稀土元素特征与辉石二长闪长岩相似, 其中呈填隙状方解石的化学组成、同位素组成显示深源特征; 夕卡岩矿物中出现熔融包裹体, 均一温度高于 920℃; 矿体特征与寄主夕卡岩的各方面特征十分相似。这些特征显示该矿床可能是一种高温高密度粘稠的夕卡岩岩浆熔(流)体冷凝固晶演化过程的产物。

关键词: 铜矿床 夕卡岩浆 成岩成矿机理 安徽铜陵

长江中下游铁铜成矿带中夕卡岩型矿床占有十分重要的地位。关于夕卡岩的成因, 长期以来几乎公认是接触交代的产物, 因而习惯地将夕卡岩矿床称为接触交代变质矿床。事实上关于夕卡岩的多成因性早已提出, 如岩浆夕卡岩的概念 Con. Votta^[1]在 1864 年就已提出。在我国, 70 年代赵一鸣(赵一鸣等, 1974、1982)曾报导过有岩浆夕卡岩。但因这类报导不多, 研究也不太深入, 所以不太引人注目。近十年来, 我国部分研究者在研究中多次观察到岩浆成因的夕卡岩, 并开展了大量的针对性研究^[1~7]。笔者曾多次前往安徽铜陵狮子山地区开展研究, 认为东狮子山铜矿床为一岩浆夕卡岩型矿床。

1 东狮子山铜矿矿床地质特征

东狮子山铜矿床位于安徽铜陵狮子山矿田内, 为一夕卡岩型矿床, 过去一直认为它是接触交代的产物。然而, 笔者等近年的研究发现该矿床的许多特征显然不可能是接触交代作用的结果。

1.1 夕卡岩的特征

1.1.1 野外产状

东狮子山夕卡岩总体呈似层状透镜体沿早三叠世南陵湖组的顺层滑脱构造产出, 也有呈

^{*} 国家自然科学基金资助项目(编号: 49633120)资助

凌其聪, 男, 1963 年生, 硕士, 讲师, 1992 年毕业于中国地质大学(武汉), 从事矿物学、成矿作用动力学的教学及科研工作。邮政编码: 430074

1996-11-18 收稿, 1997-12-22 二次修改回

脉状产于大理岩及辉石二长闪长岩中。夕卡岩与辉石二长闪长岩紧密相伴，构成特殊的“夕卡岩-富碱侵入岩对”^[2]。

以似层状产出的夕卡岩与南陵湖组灰岩（大理岩）界线截然，在井下一80 m 中段等多处见到接触界面呈港湾状，并且沿界面出现一圈粗晶—伟晶状方解石。这种现象被认为是高温高密度的岩浆熔融体贯入围岩造成围岩重结晶而形成的独有的边界特征^[1]。在夕卡岩体的边缘常见有狭窄的淬火边，厚 1 至数厘米。其中矿物颗粒细小（微粒至细粒），呈等轴状三联嵌生。此现象为熔（流）体淬火结晶的有力证据^[2]。

呈脉状产于辉石二长闪长岩中的夕卡岩，脉壁与岩体界线清楚，不出现交代现象。夕卡岩与相邻的辉石二长闪长岩也是接触界线分明，且辉石二长闪长岩出现烘烤褪色边；在夕卡岩体中出现辉石二长闪长岩角砾，角砾呈棱角—次棱角状，出现一圈烘烤褪色边；这些现象显然不可能是接触交代作用结果，而可能是一种高温高密度的岩浆熔融体侵入所为。

1.1.2 矿物组合及结构构造

（1）矿物组合：东狮子山铜矿床夕卡岩的矿物组合较为简单，主要由石榴石、透辉石组成（>90%），可含少量方解石、钾长石、石英、绿帘石、磷灰石、方柱石、榍石和黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等矿物。

此外，夕卡岩中出现钾长石+方解石+石英特殊组合的似伟晶囊状体，钾长石化学成分见表 1。囊状体内部各矿物间边界规则，无分带现象。尽管囊状体中的矿物结晶晚于石榴石等夕卡岩矿物，但后者并不出现被交代的现象，说明两者可能是在同一近于平衡的夕卡岩岩浆熔融体系中结晶。囊状体便是这种熔融体熔离作用而成的“析离体”，热液交代不可能出现这种特殊矿物组合。

表 1 似伟晶岩囊状体中钾长石的化学成分
Table 1. Chemical composition of K-feldspar in pegmatoid pockets

序号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Cr ₂ O ₃	NiO	Na ₂ O	K ₂ O	Σ	资料来源
1	65.19	0.0	18.40	0.04	0.02	0.02	—	—	0.58	16.17	100.4	本文
2	64.91	—	18.49	0.22	0.14	—	—	0.12	0.69	15.53	100.2	[5]
3	65.24	—	17.74	0.25	0.08	—	0.05	—	0.67	14.91	99.01	[5]

注：由中国地质大学（武汉）测试中心探针室刘惠芳测试。表中“—”为低于仪器检出含量

（2）结构构造：本矿床的夕卡岩以自形—半自形粒状结构、他形粒状结构、块状构造为主。主矿物石榴石常出现环带状结构。此外，还见海绵陨铁结构（自形—半自形粒状石榴石等硅酸盐矿物颗粒间被他形粒状黄铜矿、黄铁矿等金属硫化物充填或胶结而成）；豆状构造（在块状夕卡岩中出现由粗粒状石榴石、透辉石及硫化物各自组成的豆体或由其中两种矿物组成的豆体）；流动构造（由透辉石与石榴石自形晶各自定向排列成相间条带，呈舒缓波状，条带走向与围岩层理呈大角度相交）。以上这些结构构造主要见于岩浆岩中。

1.1.3 化学成分

（1）主量元素：夕卡岩的主要组分为 SiO₂、CaO、Fe₂O₃、Al₂O₃ 和 MgO、FeO，以显著富 CaO 和 Fe₂O₃ 为特征。此外，成分中 Al₂O₃ 含量较高，而碱组分含量很低，一般不超过 1%。

而与之紧密相伴的辉石二长闪长岩则富含碱质，两者在化学组成方面有共轭、互补关系^[5]。

(2) 微量元素：表 2 为夕卡岩、矿石和辉石二长闪长岩的部分微量元素的含量，从表中可看出，与相关的侵入岩相比，夕卡岩中 Cu、Au、Ag 含量更高，而 Pb、Zn 含量相近；铁族含量稍偏高，过渡元素则丰度相似。将主要过渡族元素作分布型式图（图 1），可见夕卡岩、辉石二长闪长岩的分布曲线相当一致，表明它们有密切的成因联系。

表 2 夕卡岩、辉石二长闪长岩和矿石部分微量元素的含量 (10⁻⁶)

Table 2. Some minor element contents of skarn, pyroxene monzodiorite and ores

序号	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr	V	Ti	Sr	Ba	Au	Ag	Zr	Sc	Mn	资料来源
1	1600	2.0	7.5	4.9	4.0	40.0	33.9	—	24.0	13.4	38.0	1.15	30.0	10.0	—	[5]
2	1400	4.9	79	4.3	11.0	30.0	68.0	—	78.0	245	37.0	1.3	93.0	4.86	—	[5]
3	1800	6.1	1060	653	247	51.5	54.9	632	45.6	60.0	—	—	49.9	—	3200	本文
4	1450	5.1	1570	89.8	101	12.5	25.1	475	12.1	81.4	—	—	42.0	—	1560	本文
5	1650	3.0	961	49.0	97.5	19.7	44	576	44.5	172	—	—	43.5	—	989	本文
6	1.2×10 ⁵	26	74	49	98	20	44	576	44.5	172	—	—	42.8	—	1440	本文
7	310	8.4	67.0	16.0	3.8	40.0	164	—	930	684	19.0	0.41	152	11.0	—	[5]

注：由中国地质大学（武汉）测试中心刘惠芳测试；其中 6 为矿石样，7 为辉石二长闪长岩样，其余为夕卡岩样。Au 的单位为 10⁻⁹；“—”为低于检出量

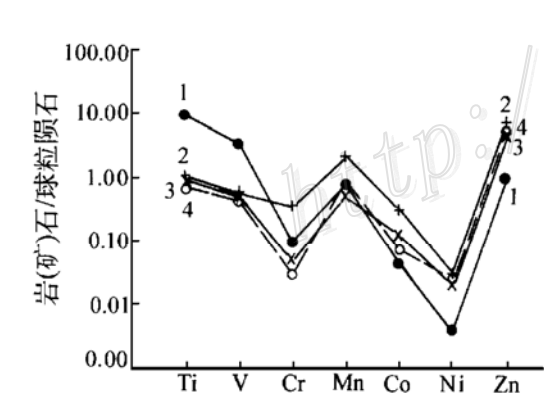


图 1 夕卡岩、矿石和辉石二长闪长岩过渡族元素分布型式

1、4—夕卡岩样；2—矿石样；3—辉石二长闪长岩样

Fig. 1. Distribution patterns of some transitional patterns in skarn, ore and pyroxene monzodiorite.

1, 4—Skarn samples; 2—Ore sample; 3—Pyroxene monzodiorite sample.

(3) 稀土元素特征：表 3 为夕卡岩、矿体和辉石二长闪长岩的稀土元素含量及计算出的部分特征值。

从表中可见：① 夕卡岩稀土总量明显低于相关的辉石二长闪长岩，这是由于夕卡岩是以钙（铁、镁）硅酸盐矿物（较贫稀土）为主之故；② 稀土配分曲线为右斜型（图 2），Eu 和 Ce 的亏损不明显，轻稀土相对富集而重稀土亏损，基本特征与相关的岩浆岩相似。三者的 (Sm/Nd)_N 值、(Ga/Lu)_N 值很相近；③ 夕卡岩、矿石与相关侵入体的稀土配分曲线型式相似。这反映它们之间有密切的成因联系。

1.1.4 包裹体特征

笔者系统采集了东狮子山夕卡岩体各个部位的岩石标本进行了较详细的包裹体观测（对矿区内其它矿床同样进行了系统的包裹体研究，拟另文发表），结果发现，与区内接触交代夕卡岩的石榴石、透辉石矿物中见有丰富气液包裹体的情形不同，东狮子山夕卡岩主矿物石榴石、透辉石中包裹体稀少，仅零星分布，且个体较小（5~10 μm），形态多为不规则状，主要为气液两相包裹体，气液比为 45%~65%，为富气包裹体，对石榴石中 4 个样品共 15 个包裹体在

Leitz1350 显微加热台上测温，结果均一温度为 670~750℃。

表 3 岩(矿)石、岩体稀土元素含量 (10⁻⁶) 及部分特征值

Table 3. REE contents (10⁻⁶) and some characteristic parameters of rocks (ores) and rock bodies

序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb
1	1.3	12.6	3.0	19.4	2.6	0.7	1.0	0.1	0.6	0.1	0.3	0.2
2	1.4	5.9	1.6	9.0	1.6	0.5	1.1	0.2	0.7	0.1	0.3	0.2
3	42.0	79.6	10.0	35.4	6.7	1.8	5.6	0.8	3.9	0.8	2.2	2.1
序号	Lu	Y	Σ	L/H	δ Eu	Eu/Sm	Sm/Nd	(Gd/Lu) _N	(La/Sm) _N	资料来源		
1	0.1	3.4	45.4	6.8	1.3	0.26	0.13	1.24	0.3	本文		
2	0.1	3.7	27.0	3.1	1.2	0.31	0.17	1.37	0.5	本文		
3	0.3	19.5	217	5.0	1.0	0.27	0.19	2.30	3.8	安徽地矿局 321 队		

注：由湖北省实验地质所测试；1—夕卡岩样；2—矿石样；3—辉石二长闪长岩样

在部分石榴石中发现少量不规则状熔融包裹体，其内由结晶质硅酸盐子矿物（偏光镜下无色透明，正交偏光下全消光）和气体空腔组成，对其中的 3 个包裹体进行了细致的测试（测试工作在 Leitz1350 热台上进行，为使数据准确，严格按规范要求，缓慢升温、分段恒温，每个包裹体连续观察测试 7~8 小时），结果测得均一温度分别为 920℃、936℃、948℃。

另外赵斌等^[7]在本矿床夕卡岩的石榴石中观察到数量较多熔融包裹体，大小一般为 15~25 μm，个别达 30~50 μm，包裹体呈他形，测得均一温度为 1195~1290℃。

如上所述，本矿床夕卡岩矿物中有均一温度高达 750℃的富气汽液包裹体，同时观测到了均一温度高于 920℃的熔融包裹体，有力地说明夕卡岩是由一种高温高密度的岩浆熔（流）体结晶而成。

1.1.5 夕卡岩主矿物的化学成分

(1) 石榴石：表 4 是夕卡岩石榴石的化学成分，它的主要成分为 Si、Ca、Fe、Al 及少量的 Mg、Mn、Na、K 等，与标准的石榴石化学成分相比，明显的富 Ca、Fe、Al、Si，属钙铝-钙铁榴石系列，主要种属有钙铝-钙铁榴石、钙铁榴石。

(2) 辉石：表 5 是辉石的化学成分，其主要组分 Si、Fe、Ca 三者合约 90%，晶体化学式计算表明，Al、Fe 主要呈六次配位充填八面体空隙，但都不同程度地进入四面体骨干。矿物种属仍为透辉石，但与典型的透辉石相比，其 Ca、Mg、Si 含量偏低而 Fe 含量偏高。

(3) 方解石：刘铁庚等^[3]曾提出了不同成因的方解石，在 SiO₂/(K₂O+Na₂O)、Al₂O₃/(K₂O+Na₂O) 比值上有明显差异，本矿床中的填隙状方解石该两项比值在投影图上落入岩浆

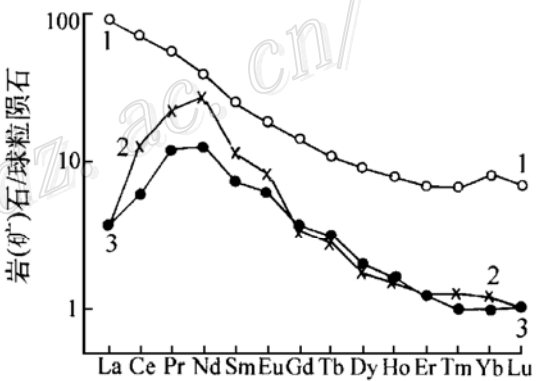


图 2 夕卡岩、辉石二长闪长岩和矿石稀土配分模式

1—辉石二长闪长岩；2—夕卡岩；3—矿石

Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of skarn, pyroxene monzodiorite and ore.

1—Pyroxene monzodiorite；2—Skarn；3—Ore.

表 4 矿石、夕卡岩中石榴石的化学成分 (%)

Table 4. Chemical composition of garnet from ores and skarn

序 号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	K ₂ O	Σ
1	37.09	0.01	5.54	21.62	0.13	0.04	34.23	0.01	0.01	98.8
2	37.04	0.00	6.72	20.17	0.41	0.01	34.59	0.02	0.03	99.2
3	37.06	0.79	7.90	19.95	0.34	1.00	32.76	0.01	0.01	100.1
4	38.24	0.46	10.39	15.39	0.23	0.17	35.08	0.01	0.04	100.01
晶体 化学 式	1	(Ca _{3.116} , Mn _{0.009} , Mg _{0.005}) _{3.130} (Fe _{1.506} Al _{0.689} Ti _{0.001}) _{2.196} [Si _{3.146} O ₁₂]								
	2	(Ca _{3.107} , Mn _{0.029} , Mg _{0.002}) _{3.138} (Fe _{1.409} , Al _{0.412}) _{1.925} [Si ₃ O ₁₂]								
	3	(Fe _{1.741} , Ca _{0.367} , Mg _{0.157} , Mn _{0.030}) _{2.295} (Al _{1.210} , Si _{0.88}) _{2.09} [Si ₃ O ₁₂]								
	4	(Ca _{2.989} , Mg _{0.021} , Mn _{0.015}) _{3.015} (Al _{1.209} , Fe _{1.020} , Si _{0.041} , Ti _{0.028}) _{2.257} [Si ₃ O ₁₂]								

注：由中国地质大学（武汉）测试中心电子探针室刘惠芳测试。序号 1、2、3 取自夕卡岩；4 取自矿石

表 5 夕卡岩中辉石的化学成分 (%)

Table 5. Chemical composition of pyroxene from skarn

序 号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Σ
1	53.44	0.01	0.11	5.53	0.66	14.63	25.34	0.01	0.09	99.64
2	53.32	0.01	0.40	9.92	0.60	11.96	24.39	0.02	0.18	100.80
3	53.33	0.01	0.40	7.11	0.72	13.84	24.59	0.00	0.15	100.15
晶体 化学 式	1	(Ca _{1.009} , Na _{0.007}) _{1.016} (Mg _{0.815} , Fe _{0.163} , Mn _{0.021}) _{0.999} [(Si _{1.986} , Fe _{0.008} , Al _{0.006}) ₂ O ₆]								
	2	(Ca _{0.977} , K _{0.013} , Na _{0.001}) _{0.991} (Mg _{0.670} , Fe _{0.309} , Al _{0.015}) _{0.994} [(Si _{1.993} , Al _{0.007}) ₂ O ₆]								
	3	(Ca _{0.978} , K _{0.011}) _{0.989} (Mg _{0.772} , Fe _{0.220} , Al _{0.005}) _{0.997} [Si _{1.983} , Al _{0.017}) ₂ O ₆]								

注：由中国地质大学（武汉）测试中心电子探针室刘惠芳测试

碳酸岩区（图 3），显示了深源特征。

方解石的碳、氧同位素特征 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-2.8\text{‰} \sim -3.9\text{‰}$ (PDB)， $\delta^{18}\text{O}$ 为 $11.9\text{‰} \sim 3.8\text{‰}$ (SMOW)，与大理岩（南陵湖组） $\delta^{13}\text{C}$ 为 $1.2\text{‰} \sim 3.7\text{‰}$ ， $\delta^{18}\text{O}$ 为 20‰ 显著不同^[5]。

1.2 矿体特征

本矿床的矿体均赋存于夕卡岩中，多呈“上悬式”透镜状产出，两者之间不存在明显的

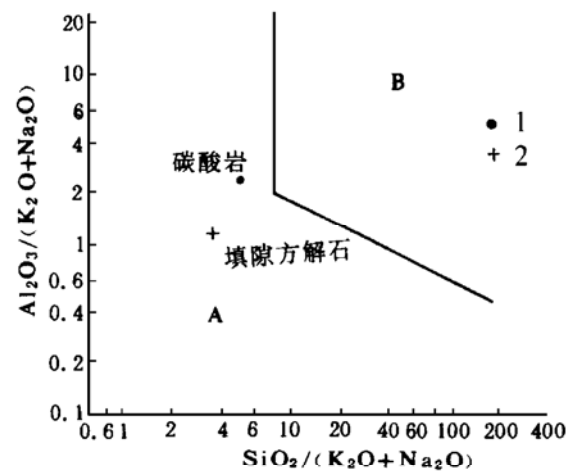


图 3 不同成因碳酸盐岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解

A—岩浆碳酸岩区；B—沉积碳酸盐岩区。

1—碳酸岩；2—填隙方解石

Fig. 3. $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ diagram of genetically different carbonate rocks.

A—Magmatic carbonatite region; B—Sedimentary carbonate rock region;

1—Carbonatite; 2—Interstitial calcite.

界线,只能依据含金属硫化物的多寡、铜品位的高低来划分;矿石类型以浸染状和块状为主,结构构造与前述的夕卡岩特征十分相似;两者的矿物组合相同;具有十分一致的稀土和微量元素特征(表 2、表 3,图 2)。这些特征表明矿床的形成过程可能与寄主夕卡岩相同。

综上所述,本矿床中的夕卡岩在野外产状、结构构造、包裹体等方面显示了明显岩浆岩的特征。在矿物组合、填隙方解石化学成分、微量元素、稀土元素和同位素等各方面显示出与岩浆岩具有亲缘关系(但主矿物石榴石和辉石的化学成分与一般的夕卡岩没有太大的差异,从下文讨论岩浆夕卡岩的形成过程可知这是必然的)。因此,笔者认为,该夕卡岩可能是由一种高温高密度的夕卡岩岩浆溶(流)体冷凝演化结晶而成。夕卡岩岩浆在演化过程中因发生液态不混溶作用而形成硫化物铜矿体。

2 成岩成矿机制探讨

如上所述岩浆夕卡岩与富碱辉石二长闪长岩紧密伴生,两者相互包裹或穿插,构成了特殊的岩浆夕卡岩-碱性侵入岩对。在化学组成上前者富 Ca、Mg、Fe,而后者富碱铝组分,两者化学成分具有共轭、互补关系。其中,碱质源于地幔^[2],而大量的钙质,更可能是富碱岩浆在高位岩浆房中通过顶蚀而捕虏灰岩或白云质灰岩后,经过同熔混合或同化混染而获得的。由于它们的组分熔解参数(NBO/T 值)差异很大(前者大于 1.0,而后者小于 0.5),在演化过程中易发生不混溶分离。

因此,推测整个成岩成矿过程为:来自深部较富硅、碱质的中酸性岩浆在上侵过程中,通过顶蚀或围岩崩塌吞食了部分碳酸盐地层,形成了一个距深部岩浆源有一定距离的岩浆房。岩浆的高热使其完全同化了所捕获的碳酸盐岩而形成一种均匀的岩浆体系。外来组分的加入及物化条件的变化,引起岩浆体系的熔离作用,形成以 Si、Al、K、Na 为主要组分的富碱辉石二长闪长岩岩浆和富 Ca、Fe、Mg、Cu 的夕卡岩岩浆。夕卡岩岩浆因此重差异而产生液态重力分层,比重小的辉石二长闪长岩岩浆浮于上部,比重大的含铜夕卡岩岩浆沉于下部,在断裂的诱导下,辉石二长闪长岩岩浆首先上升侵位、固结成岩。由于先上升冷凝的辉石二长闪长岩堵塞了岩浆上侵通道,致使夕卡岩岩浆未能同时上侵。在后继的构造活动中,先前的断裂系统发生继承性活动,通道再次被打开,夕卡岩岩浆上侵运移到有利的构造部位如顺层滑脱空间,以贯入充填的方式就位。由于地质及物化条件的突变,夕卡岩岩浆系统内部平衡被打破而发生了原地熔离作用,使 Ca、Mg、Fe 质硅酸盐与 Fe、Cu 硫化物分离。因温度、压力迅速下降,加之石榴石等夕卡岩矿物在较高温度条件下即开始结晶,熔离作用未能充分进行,Fe、Cu 硫化物只能呈他形充填于夕卡岩矿物间或胶结夕卡岩矿物形成具有海绵陨铁结构的浸染状矿体。这种成因推论也能合理地解释本区出现的夕卡岩-碱性侵入岩对现象。

参 考 文 献

- 1 林新多,许国建. 岩浆成因夕卡岩的某些特征及形成机制初探. 现代地质, 1989, 3 (3): 351~358
- 2 吴言昌,邵桂清等. 岩浆夕卡岩及其矿床. 安徽地质, 1996, 6 (2): 30~39
- 3 吴言昌. 安徽沿江地区夕卡岩型金矿. 安徽地质, 1989, 1 (1): 1~11

- 4 许国建, 林新多. 安徽长龙山岩浆型铁矿床成因探讨. 地球科学, 1990, 15 (6): 649~656
- 5 吴言昌. 论岩浆夕卡岩: 一种新类型夕卡岩. 安徽地质, 1992, 2 (1): 12~26
- 6 赵斌, 赵劲松等. 岩浆成因夕卡岩的实验证据. 科学通报, 1993, 38 (21): 1986~1989
- 7 赵斌, 李院生等. 岩浆成因夕卡岩的包裹体证据. 地球化学, 1995, 24 (2): 198~200
- 8 刘铁庚, 邱聚田. 再论白云鄂博白云碳酸岩的成因. 地质与勘探, 1986, 22 (8): 35~40

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ORE-FORMING AND ROCK-FORMING MECHANISM OF THE DONGSHIZISHAN COPPER DEPOSIT IN TONGLING, ANHUI PROVINCE

Ling Qicong, Cheng Huilan
(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Chen Bangguo
(Shizishan Copper Mine, Tongling 244100)

Key words: copper deposit, skarn magma, rock-forming and ore-forming mechanism, Anhui Province

Abstract

The Dongshizishan copper deposit in Tongling is a skarn deposit which, unlike most of other skarn deposits, was not formed by metasomatism. The authors hold that the skarn and copper orebodies are products of a sort of sticky magmatic molten mass characterized by high temperature and density, as evidenced by a series of distinctive characteristics observed in the ore deposit.

The boundary between the skarn and its country rock (marble) is clear and sharp, and the contact appears in embayed form with a recrystallization bleached zone on the side of the wall rock. The contact between the skarn and the pyroxene monzodiorite (another sort of wall rock) is also distinct, the former having a quenching zone and the latter possessing an optalic bleached zone. Besides, pyroxene monzodiorite rubbles can be seen in the skarn. All these typical phenomena are generally confined in magmatic rocks.

As for the mineral association, a kind of unique "pegmatic pockets" composed of K-feldspar, calcite and quartz can be seen in the skarn, with their boundaries being clear and regular. No metasomatism has been seen between these minerals and skarn minerals. Typical magmatic textures and structures, such as sideronitic texture, pisiform structure and flow structure are observed. Characteristics of trace elements and REE of skarn are similar to those of pyroxene monzodiorite. Chemical composition and $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ values of calcite among skarn minerals suggest that this mineral was derived from magma at depth. Moreover, molten inclusions occur in garnet of skarn with homogenization temperatures above 920°C.

Orebodies and skarns are quite similar to each other in such aspects as mineral associations, textures and structures, trace elements and rare earth elements, suggesting that they were formed by the same process.