

文章编号:0258-7106(2005)05-0527-10

湖北铜绿山矽卡岩型铜铁矿床中隐爆角砾岩型金(铜)矿体的发现及其找矿前景*

刘继顺¹, 马光¹, 舒广龙^{1,2}

(1 中南大学地质与环境工程学院, 湖南长沙 410083; 2 桂林工学院资源与环境工程系, 广西桂林 541004)

摘要 经研究确认鄂东南铜绿山矿床为隐爆角砾岩型金(铜)矿。这一新类型的金(铜)矿体受 NW 向断裂、隐爆角砾岩带、接触带复合构造的控制,产于矽卡岩型矿床上盘大理岩残留体的边部,走向上大致与 NNE 向矽卡岩型主矿带垂直。矿石呈角砾状构造,角砾成分为大理岩、斜长石岩,含少量块状磁铁矿、角砾和高岭石化花岗岩角砾。胶结物主要为细碎屑物及微细粒状石英、玉髓、高岭石、黄铜矿和黄铁矿等中低温热液矿物。矿石平均 w_{Cu} 2.54%, w_{Au} 3.44×10^{-6} 。隐爆角砾岩型矿化是在岩浆侵入作用下成矿热液演化晚期阶段形成的,时间上晚于矽卡岩型,但可叠加其上,常形成富铜金矿体,也可形成独立金矿体。隐爆角砾岩型金(铜)矿体的发现为大幅度增加铜绿山矿床的储量指明了方向,对认识铜绿山矿田的成矿系列具有重要意义。

关键词 地质学;隐爆角砾岩;矽卡岩;铜铁矿;铜金矿;铜绿山

中图分类号: P618.51; P618.41

文献标识码: A

鄂东南的铜绿山矿床为一大型矽卡岩型铜铁矿床,探明铜金属储量 112.4 万吨,铁矿石储量 5 681.9 万吨,伴生金 68.98 t 和银 602 t^①。经过半个世纪的建设 and 生产,现已形成日处理量达 4 500 t 矿石的现代采选系统。随着不断开采,探明储量日渐消减,大冶有色金属公司寻找后备资源的心情越来越迫切,特邀请中南大学对铜绿山矿床进行找矿增储研究。

在坑道调查中,首先在 III-2 矽卡岩型铜铁矿体上盘边部被废弃的“围岩”中,发现了厚达十余米的角砾岩。角砾岩中见有细小的硫化物,经化学分析,金、铜含量均达可采指标。接着在坑道中又发现 XI 号矿体(勘探时作为矽卡岩型的小矿条)也具有典型的角砾岩特征。在地表已废弃的露采场,发现了厚达 30 余米的角砾岩带,金、铜均达可采品位。进一步追索发现,这些含金、铜的角砾岩实为隐爆角砾岩。由于其展布呈 NW 向,而 NW 向的勘探线难以控制,故为勘探时所忽视。又由于其含铁很少,硫化物细小,亦未被矿山开采所重视。

隐爆角砾岩是角砾岩中的一种特殊类型,是热液运移的良好通道和容矿场所,其成岩作用常常伴

随热液成矿作用,为金属矿床中的一种重要类型 (Bryner, 1961; Barker et al., 1991; Henley, 1991; Sillitoe, 1985; Sillitoe et al., 1984; Thompson et al., 1985)。地质学家们对铜绿山矿床的构造演化、岩浆活动和成矿作用曾进行过大量研究(章增凤, 1992; 舒全安等, 1992; 王照波, 2001; 吴承烈等, 1998; 刘治国, 2002; 戚学祥等, 2002; 丁俊华等, 1996),但对构造的研究只是停留在断裂与褶皱复合的破碎带上(顾连兴等, 2002; 冯守忠, 2003; 罗镇宽等, 1999)。本文简单介绍了铜绿山矽卡岩型铜铁矿的地质特征,对新发现的隐爆角砾岩型铜金矿体的地质特征、空间展布和形成机理进行了研究,从矿体地质与地球化学特征上进行了矽卡岩型铜铁矿与隐爆角砾岩型金铜矿的对比,并提出了 NW 向构造的控矿作用、NNE 向矿带与 NE 向矿带的关系及厚大富铜金矿体的成因等新的认识,指明了找矿的方向。

1 铜绿山矽卡岩型铜铁矿床地质特征

铜绿山矿区位于长江中下游的鄂城—大冶—瑞

* 本文得到国家自然科学基金(编号:40072032)的资助

第一作者简介 刘继顺,男,1957年生,教授,从事区域成矿学与找矿系统工程研究工作。E-mail: jsliu@mail.csu.edu.cn。

收稿日期 2004-09-06; 改回日期 2005-01-20。张琦玲编辑。

① 鄂东南地质队, 1983. 湖北省大冶县铜绿山铜铁矿床地质勘探总结报告. 210 页。

昌铁铜金成矿带的西北部、阳新岩体的西北端,岩体以低硅、富碱质、低铁镁为特征,属于浅-超浅成侵入的岩株。矿区地层主要为下三叠统大冶组碳酸盐岩(T_1dy^{1-7}),呈隐伏状态沿 NNE 向构造排列的断块状出现,与成矿关系密切的主要为第 5、第 6 岩性段的大理岩和白云质大理岩;主要控矿构造为印支期的 NWW 向断裂-破碎带构造和 NNE 向褶皱-断裂

构造;灰岩和白云岩均已变为大理岩或矽卡岩,在构造作用及岩浆侵入作用下“分割”成捕虏体或残留体(图 1)。

矽卡岩型铜铁矿体就是产在花岗闪长斑岩与残留-捕虏体的接触-断裂带处,可分为自南西至东北向排列的 I、III、IV(V)、VI 及 XII 号矿体组成的 NNE 向矿带,和 II、XI、VIII、VII、IX 号及 MI (民采矿) 号组成

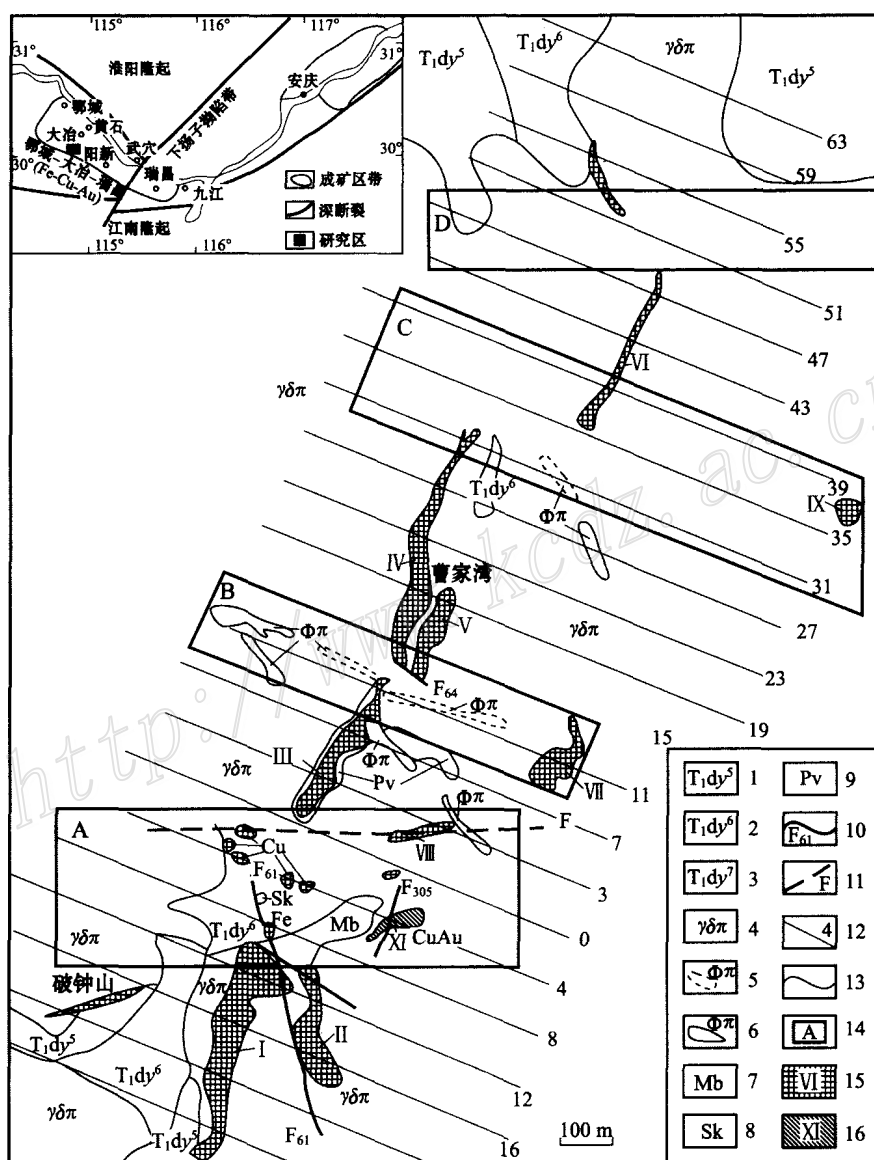


图 1 铜绿山矿区综合地质图

- 1—大冶组第 5 段;2—大冶组第 6 段;3—大冶组第 7 段;4—花岗闪长斑岩;5—推测钠长斑岩;6—钠长斑岩;7—大理岩;8—矽卡岩;
- 9—斜长石岩;10—断裂及编号;11—破碎带;12—勘探线及编号;13—地质界线;14—预测区及编号;15—矽卡岩型矿体及编号;
- 16—隐爆角砾岩型矿体及编号

Fig.1 Composite geological map of the Tonglushan ore district

- 1—5th Member of Daye Formation; 2—6th Member of Daye Formation; 3—7th Member of Daye Formation; 4—Granodiorite porphyry;
- 5—Inferred albitophyre; 6—Albitophyre; 7—Marble; 8—Skarn; 9—Plagioclaste; 10—Fault and its serial number; 11—Crash belt;
- 12—Exploration line and its serial number; 13—Geological boundary; 14—Prognostic area and its serial number;
- 15—skarn-type orebody and its serial number; 16—Cryptoexplosive breccia-rock type orebody and its serial number

的 NE 向矿带,以 I 号、III号、IV号和 XI号矿体为主, III号矿体规模最大。在接触带与构造破碎带交叉复合部位,易形成富厚矿体(如 III号矿体),已形成的矽卡岩型矿体受后期成矿作用叠加改造,使成矿元素(特别是金)进一步富集,形成构造角砾岩型铜金矿和隐爆角砾岩型金(铜)矿(如 XI号矿体等)。

矿区矽卡岩主要有钙矽卡岩、镁矽卡岩、钙镁矽卡岩和斜长石岩等。主要矽卡岩矿物有透辉石、石榴子石、金云母和斜长石等,蚀变作用主要有透辉石化、金云母化、钠长石化、绿帘石化、钾长石化和硅化、碳酸盐化等。矿石矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、磁铁矿、赤铁矿、孔雀石、褐铁矿等。矿石结构主要为他形-自形晶粒结构、交代结构、固溶体分解结构和再结晶结构等。矿石构造主要为块状构造、浸染状构造、网脉状构造、角砾状构造等。矿石按工业类型分主要有铁矿石、铜铁矿石、铜金矿石、铜矿石和钼矿石等。在矽卡岩中,由内带向外带有明显的矿石分带:黄铜矿-黄铁矿带→磁铁矿-黄铜矿带→黄铜矿-斑铜矿-辉铜矿带。

2 隐爆角砾岩型铜金矿地质特征

2.1 隐爆角砾岩存在的证据

本区的隐爆角砾岩具有不同于构造角砾岩的明显特征:①地表受 NE 向构造的影响,呈 NE 向延长的椭圆形,为原断裂破碎带出露地表的部位,向下受

E W-N W W 向构造控制逐渐变为近东西向而呈带状(-305 m 中段);②自破碎带边部至中心角砾明显由大(最大 1.0 m 土)变小(最小 0.05 m 土),胶结物也明显由少变多;③角砾成分北部多为大理岩(围岩),南部多为花岗闪长斑岩(多蚀变成斜长石岩),少数为磁铁矿角砾等,显示“就地取材”特征;④胶结物主要由与角砾同成分的岩粉及硅质组成,并常含有黄铁矿等金属硫化物;⑤角砾主要呈棱角状,次为次棱角状,次圆状少见,无大的位移,具可拼性,裂隙可闭合,并具有明显的蚀变褪色边;⑥由大小相差悬殊的棱角状角砾与角砾间的岩粉、岩屑、石英及硫化物等,构成典型的“爆破角砾结构”(林仕良等,2003;曹益富等,1999)。

2.2 矿体特征

目前发现的隐爆角砾岩型矿体分布在矿区 4 线 XI号矿体下方,隐伏于花岗闪长斑岩之下的斑岩体与大理岩接触部位的隐爆角砾岩带中(图 2)。矿体北侧围岩为大理岩,南侧围岩为花岗闪长斑岩(多已蚀变为斜长石岩),矿体(角砾岩)与围岩界限清楚。隐爆角砾岩型矿体总体走向 E W-N W W,近直立,长约 120 m,平均厚约 20 m,控制延伸达 300 余米。矿体在 -185 m 以下不同标高上的形态大致相同,为较规则的带状(图 2)。

受隐爆角砾岩化作用的 III2 号矿体南部和隐爆角砾岩型 XI号矿体,矿石和围岩中成矿元素含量明显增高(表 1),特别是 Au、Cu、Ag 等元素,以 Au 为

表 1 铜绿山隐爆角砾岩型及叠加复合型矿石多元素分析

Table 1 Multi-element analyses of cryptoexplosive breccia and superimposed compound ores in the Tonglushan ore district

样品号	采样位置	岩性	$w_B/10^{-6}$											
			Cu	Cr	Ni	Mo	V	Ag	Ti	Co	Sr	As	Sb	Au*
III2 矿体														
T36	- 305 m	矿石	28400	2.8	2.5	0.31	3.0	5.13	241	32.6	96.6	4.12	0.55	221.1
T45	- 305 m	矿石	21700	4.1	21.4	0.87	3.3	7.83	157	>200	179.3	10.5	0.80	1528.5
T41	- 305 m	围岩	63770	13.7	5.6	5.55	21.9	6.61	1901	181.5	253.5	15.5	0.91	2456.2
T42	- 305 m	围岩	8700	2.8	10.3	3.11	8.6	5.74	254	>200	122.9	11.6	2.57	1208.1
T44	- 305 m	围岩	10300	3.9	15.6	0.76	3.0	5.19	24	>200	167.1	6.03	0.79	2832.0
XI矿体														
T18	- 297 m	围岩	4100	9.2	22.2	1.80	36.6	6.19	813	>200	55.7	14.9	0.57	2691.0
T19	- 297 m	矿石	24300	3.4	8.6	2.41	6.7	10.22	88	>200	64.6	24.8	1.65	2170.2
T61-1	- 305 m	矿石	37600	13.2	10.2	0.90	3.2	6.24	1042	>200	61.4	12.4	2.00	5420.1
T61-2	- 305 m	矿石	14300	11.2	12.7	1.14	10.2	6.13	1811	>200	46.2	32.8	0.63	2737.2
矿石平均值			25260	6.9	11.1	1.13	5.3	7.11	668		89.62	16.9	1.13	2415.4
围岩平均值			5777	7.4	13.4	2.81	18	5.93	748		149.8	12	1.21	2296.8
地壳丰度			55.0	100	75.0	1.5	135	0.07	5700	25.0	375.0	1.8	90	4.0
碳酸盐岩平均含量			4.0	11	20.0	0.4	20	0.14	400	0.1	610.0	1	3	2.0

注: * 单位为 10^{-9} 。由有色金属桂林矿产地质测试中心检测,Au 用原子吸收光谱分析(日立 Z-8000),检出限 1.0×10^{-9} ;Cu、Ag、Mo、Co、Ni、V、Ti 用直读光谱(90-950II),检出限为 $0.02 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$;Sr、Rb 用 X 射线荧光光谱(理学 3080),检出限为 10×10^{-6} 和 3×10^{-6} ;As、Sb 用原子荧光光谱(AFS-2202),检出限为 0.5×10^{-6} 和 0.3×10^{-6} ;地壳丰度据泰勒(1964),碳酸盐岩平均含量据涂里干和魏德波尔(1961)。

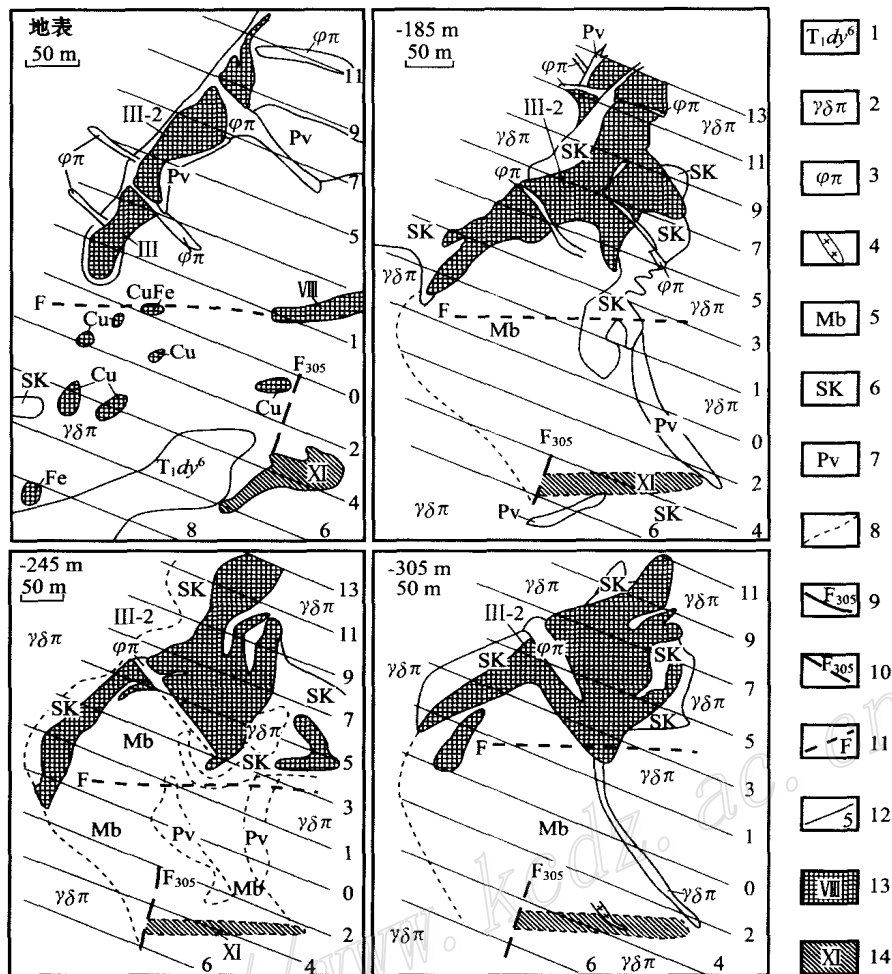


图2 III-2号和XI号矿体不同标高形态变化

1—大冶组第6段;2—花岗闪长斑岩;3—钠长斑岩;4—煌斑岩;5—大理岩;6—砂卡岩;7—斜长石岩;8—推测地质界线;9—断裂及编号;10—推测断裂及编号;11—破碎带;12—勘探线及编号;13—砂卡岩型矿体及编号;14—隐爆角砾岩型矿体及编号

Fig.2 Shape variation of III-2 and XI orebodies at different depths

1—6th Member of Daye Formation; 2—Granodiorite porphyry; 3—Albitophyre; 4—Lamprophyre; 5—Marble; 6—Skarn; 7—Plagioclase; 8—Inferred geological boundary; 9—Fault and its serial number; 10—Inferred fault and its serial number; 11—Shatter zone; 12—Exploration line and its serial number; 13—Skran orebody and its serial number; 14—Cryptoexplosive breccia type orebody and its serial number

例:矿石中 Au 含量可高达地壳丰度的 1355.0 倍,平均含量为地壳丰度的 603.86 倍;围岩中 Au 含量最高可达地壳丰度的 708.00 倍,平均含量为地壳丰度的 574.21 倍(已构成新的铜金矿体)。可见角砾岩化作用对成矿元素的迁移和进一步富集起到了重要作用。

在垂直角砾岩带(矿体)方向上(由北向南),Cu、Au 的含量呈有规律变化: w_{Cu} 由 3600×10^{-6} 变化到 100.7×10^{-6} , w_{Au} 由 199.6×10^{-9} 变化到 1.74×10^{-9} ,反映出随着远离角砾岩带(矿体),Cu、Au 含量呈降低的趋势。

2.3 矿石特征

矿石呈角砾状构造(照片 1~4)。角砾成分主要

为大理岩和斜长石岩,次为铁矿石和铜矿石。角砾形态不规则,多为棱角状-次棱角状。角砾大小混杂,大者 20~30 cm,小者 1~2 cm。矿体中成分、大小不同的角砾含量分布不均匀:矿体中部角砾含量少(30%)而且颗粒较小(最大 20 cm),向两侧角砾含量增多(可达 40%~50%)且颗粒增大(最大为 60 cm 透镜体,一般 15 cm 左右,特别是南部)。矿体北部角砾成分主要为大理岩,局部见铁矿石、铜矿石及高岭石角砾;南部角砾成分主要为斜长石岩,见少量大理岩。在矿体南盘见近水平的斜长石岩透镜体(照片 4)。胶结物成分主要为岩粉和石英、玉髓、高岭石、硫化物等热液矿物。铜、金矿化强弱主要与角砾岩中胶结物含量以及胶结物中硫化物含量有关。

角砾岩矿石中的金属矿物主要为黄铜矿和黄铁矿等,热液脉石矿物主要为石英、玉髓和粘土矿物等,多分布于胶结物中。

磁铁矿:主要为自形-半自形粒状,浸染状分布于矿石中,粒径一般为 1.20 mm 左右,常被黄铜矿、黄铁矿、石英等较晚期矿物穿插,分布不均匀。

黄铜矿:多数以他形粒状分布于脉石或磁铁矿颗粒之间,少数被黄铁矿或斑铜矿交代呈残斑结构,又被后期的石英或方解石脉穿插,不均匀分布,粒度一般在 0.03 ~ 0.005 mm。

黄铁矿:分布较广,相对数量较多,多为他形粒状分布于黄铜矿等矿物颗粒中,出现在脉石矿物中大多呈自形-半自形,粒径多数为 1 ~ 2 mm,呈星点状分布。

胶黄铁矿:数量较少,呈较规则的同心圆状分布于黄铁矿、黄铜矿颗粒之间,个别被斑铜矿交代呈边

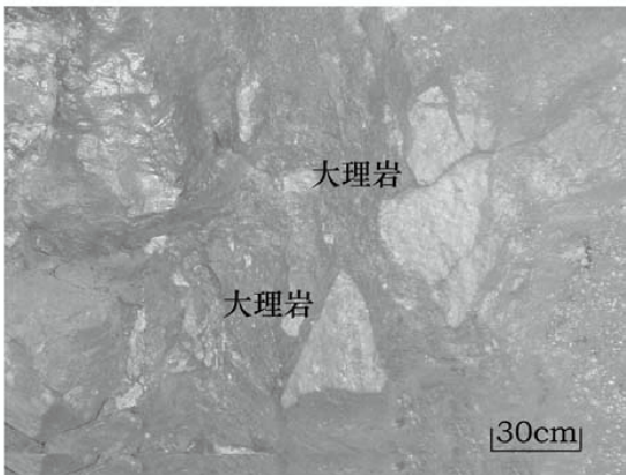
缘交代结构。

斑铜矿:常沿黄铜矿颗粒周围进行交代,形成边缘交代结构,含量较少。

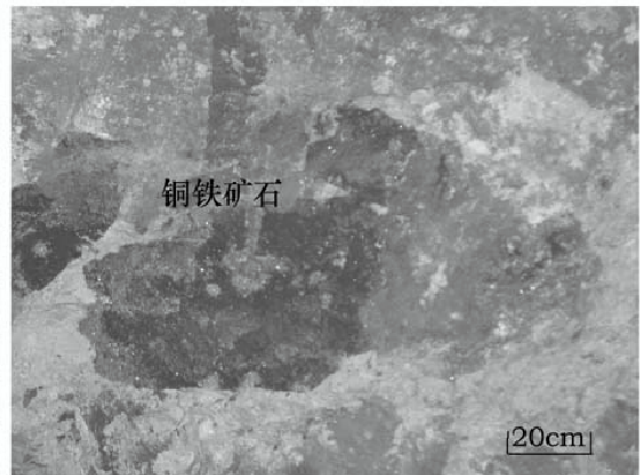
石英:为他形粒状分布在其他矿物之间,或呈脉状填充矿物间的裂隙,组成脉状或网脉状结构,粒径多数为 0.4 ~ 0.05 mm。

玉髓:在透明薄片,呈完整或不完整的同心圆状出现在角砾岩的胶结物中,含量达 35%;在内反射光下,可见玉髓具多层环带状分布于其他矿物颗粒间,条带清晰、规整,表面干净,反映其形成环境较稳定。玉髓颗粒内见明显的破碎,说明玉髓形成后有后期构造活动发生。

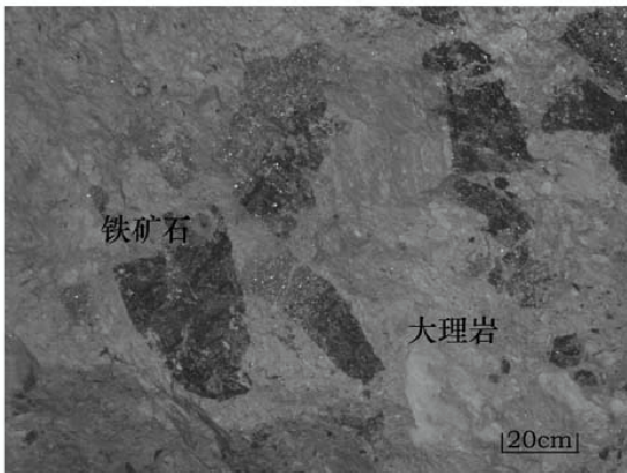
粘土矿物:主要为高岭石,为花岗闪长斑岩或斜长石岩、角砾岩等蚀变的岩石和矿石中常见的矿物,其集合体呈角砾状,大小不一,大者 10 cm,小者 0.5 cm,成分较纯,受到一定的风化蚀变作用,硬度小。



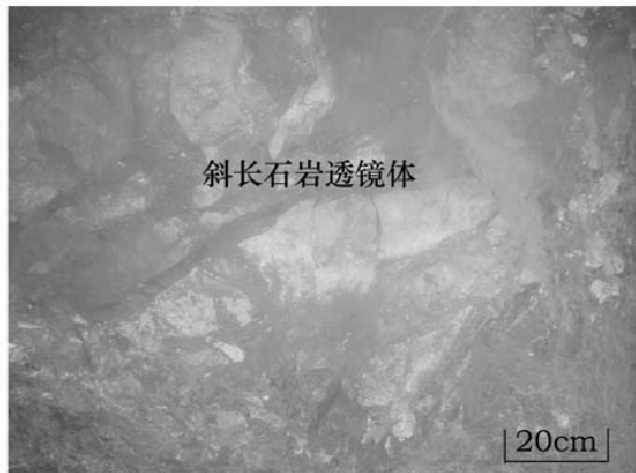
照片 1 大理岩角砾
Photo.1 Marble breccia



照片 2 铜铁矿石角砾
Photo.2 Cu-Fe-ore breccia



照片 3 大理岩及铁矿石角砾
Photo.3 Marble and Fe-ore breccia



照片 4 矿体南盘斜长石岩透镜体
Photo.4 Plagioclase rock lens in south of ore-body

2.4 隐爆角砾岩形成机理及隐爆后的剪切作用

燕山早期花岗闪长斑岩(铜绿山岩体的主体)熔融体,沿印支期形成的NW向破碎带构造向上运移,侵入至近地表,其前锋注入破碎带。由于冷却凝固而与破碎带内角砾岩一起形成相对封闭而脆弱的“密闭空间”,为隐爆作用准备了条件。随着岩浆不断的结晶分异,大量的挥发分也逐渐分异并聚集,特别是后续熔融体源源不断的供应热量,使岩浆中大量液体(主要是水)不断气化,在“密闭空间”内聚集了较高的能量,当压力超过遮盖层的强度和上覆岩层的静压力,或再次发生构造活动时,便发生隐蔽爆破形成角砾岩体。这时含矿热液在整个角砾岩体内冷凝,形成的热液蚀变物充填于角砾之间成为含矿胶结物,促使金从热液中沉淀出来,形成初期的金矿化。隐蔽爆破使“密闭空间”的体积、孔隙度和渗透性均有所增大,有利于蚀变作用和下一次爆破作用的发生,也为金矿化准备了赋矿空间。之后深部岩浆房的岩浆再次沿断裂-破碎带上侵,含矿热液重新聚集—爆破—再冷凝—再聚集。如此反复形成了多次爆破的角砾岩体,有用组分(特别是金)也逐渐赋存于胶结物内形成多期矿化叠加的含矿角砾岩体,最终使整个隐爆角砾岩带成为隐爆角砾岩型金(铜)矿体。

继隐爆作用后,断裂构造再次活动,发生脆-韧性剪切作用。在XI号矿体南盘,存在剪切作用形成的斜长石岩透镜体(照片4),从其呈近似水平的椭圆体可以判断,剪切方向近于水平(方向难于判断)。而在其北盘也见到由于韧性剪切作用形成的糜棱岩(照片5),糜棱岩中可见到大小不同的棱角状、次棱

角状和次圆状等大理岩角砾和铁矿石、铜矿石角砾等,由于韧性剪切而形成的塑性流动构造在此表现得并不明显,大小不同的各种岩石、矿石角砾混杂,排列无方向性,说明韧性剪切作用时间较短、剪切的距离、强度、规模均较小,由此可断定剪切作用并不强烈。从以上特征判断,此隐爆角砾岩带及其金(铜)矿体形成作用复杂,构造演变及成矿作用具有多期性、多阶段性。

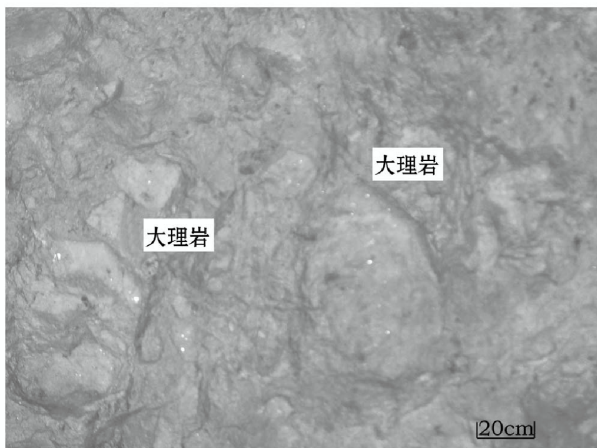
3 隐爆角砾岩型与矽卡岩型矿体对比

隐爆角砾岩型矿体与矽卡岩型矿体既有特征上的区别又有成因上的联系,表现在:

(1) 时间上:矽卡岩型矿体形成于前,隐爆角砾岩型矿体形成在后,隐爆角砾岩型矿化对矽卡岩型矿化进行叠加改造,从而使得隐爆角砾岩型金(铜)矿体中有矽卡岩型铁、铜矿石角砾,其金含量明显高于矽卡岩型铜铁矿石。

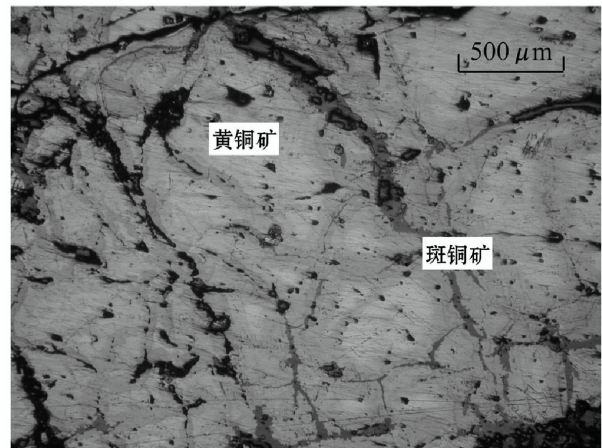
(2) 空间上:隐爆角砾岩型铜金矿体产于矽卡岩型铜铁矿体上盘大理岩捕虏体的南侧边缘部位,受NW向断裂-隐爆角砾岩带-接触带复合构造共同控制,矽卡岩型矿体与NW向、NNE向构造的结合部对隐爆角砾岩型矿体的形成最为有利。

(3) 矿石结构、构造:矽卡岩型矿体矿石具他形粒状结构,半自形骸晶结构,交代及交代残斑结构等。构造有浸染状构造、网脉状构造(照片6)和块状构造等。隐爆角砾岩型矿石具有典型的爆破角砾构造(由大小相差悬殊的棱角状角砾与角砾间的岩粉、岩屑、石英、高岭石等胶结物构成)(杜仕良等,



照片5 矿体北盘糜棱岩化作用

Photo.5 Mylonization in north of ore-body



照片6 网脉状构造

Photo.5 Net-nervation structure

2003), 也有网脉状构造。

(4) 成矿元素含量: 矽卡岩型矿体和矽卡岩与隐爆角砾岩叠加复合型矿体成矿元素含量不同, 甚至受隐爆作用影响的 III2 号矿体的南部和未受隐爆作用影响的 III2 号矿体的北部成矿元素含量也存在明显差异(表 2): III2 号矿体南部(复合叠加型)矿石金含量(w_B , 下同) $1\ 528.5 \sim 2\ 456.2 \times 10^{-9}$, 平均值为 $1\ 608.0 \times 10^{-9}$, 铜含量 $0.406\% \sim 2.17\%$, 平均值为 1.09% ; 而 III2 号矿体北部(矽卡岩型)矿石金含量最高 356.2×10^{-9} , 平均值为 302.8×10^{-9} , 铜含量 $1.38\% \sim 24.0\%$, 平均值 9.41% 。I 号和 III 号矽卡岩型矿体金含量分别为 632.3×10^{-9} 和 221.1×10^{-9} , 可见, 叠加复合型矿体金含量是矽卡岩型矿体金含量的 3~12 倍, 叠加复合型铜金矿比矽卡岩型铜铁矿具有更重要的工业意义。

(5) 稀土元素特征: 不同类型矿石稀土元素特征值(表 3) 也存在明显差异, 隐爆角砾岩型矿石稀土元素总量最大, 矽卡岩型最小, 两者相差一个数量级, 尤其是轻稀土元素表现地更加明显, 而复合型介于两者之间; 轻、重稀土总量之比: 矽卡岩型矿石最小; 复合型和隐爆角砾岩型矿石几近相同, 说明矽卡岩型矿石分馏程度较小。 $(La/Yb)_N$ 及 $(Ce/Yb)_N$ 也类似, 但三者的重稀土分馏作用相近; 3 种矿石均具不明显的正或负铈异常。稀土元素的特征变化说明矽卡岩型、隐爆角砾岩型及复合型矿体经历了不同的成矿作用过程, 它们之间既有区别又有联系, 表现出成矿作用的继承性。

(6) 两种矿体的成矿温度不同(表 4), 磁铁矿爆裂温度为 $370\text{ }^\circ\text{C}$, 代表早期矽卡岩阶段成矿温度, 而黄铜矿爆裂温度在 $282 \sim 322\text{ }^\circ\text{C}$ 之间, 为较晚期的硫

表 2 III2 号矿体南部(叠加复合型)与北部(矽卡岩型)矿石多元素含量

Table 2 Multi-element contents of ores from the southern part (superimposition type) and the northern part (skran type) of III2 orebody

矿体及样品号	采样位置	$w_B/10^{-6}$											
		Cu*	Cr	Ni	Mo	V	Ag	Ti	Co	Sr	As	Sb	Au**
叠加复合型矿体													
T41	-305 m, III2 矿体南部	0.99	13.7	5.6	5.55	21.9	6.61	1901	181.5	253.5	15.5	0.91	2456.2
T42	-305 m, III2 矿体南部	0.87	2.8	10.3	3.11	8.6	5.74	254	>200	122.9	11.6	2.57	1208.1
T44	-305 m, III2 矿体南部	1.03	3.9	15.6	0.76	3.0	5.19	24	>200	167.1	6.03	0.79	2832.0
T45	-305 m, III2 矿体南部	2.17	4.1	21.4	0.87	3.3	7.83	157	>200	179.3	10.5	0.80	1528.5
T46	-305 m, III2 矿体南部	0.406	6.1	2.8	0.91	21.3	0.281	2701	9.2	182.4	7.65	1.61	15.10
平均值		1.09	6.1	11.1	2.2	11.6		1007		105.7	10.3	1.3	1608.0
矽卡岩型矿体													
T36	III2 北部	2.84	2.8	2.5	0.31	3.0	5.13	241	32.6	96.6	4.12	0.55	221.1
T47	III2 北部	1.38	2.0	4.7	1.63	30.2	3.837	215	194.6	93.0	2.56	0.52	356.2
T50	III2 北部	24.0	3.9	3.6	0.90	6.1	0.120	504	41.5	61.4	5.61	0.67	1.63
平均值		9.41	2.5	4.62	1.05	14.35	290.5	69.2	3.86	0.63	302.8		

注: * 单位为 %, ** 单位为 10^{-9} 。由有色金属桂林矿产地质测试中心检测, 分析方法、所用仪器及检出限同表 1。

表 3 不同类型矿石稀土元素特征值

Table 3 Characteristic values of REE in different types of ores

矿石及样品号	$\Sigma\text{REE}/10^{-6}$	$\text{LREE}/10^{-6}$	$\text{HREE}/10^{-6}$	LREE/HREE	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$	$(Ce/Yb)_N$	$(Sm/Nd)_N$	δEu
隐爆角砾岩型										
T10-3	43.05	35.64	7.41	4.81	13.55	3.84	1.63	8.23	0.55	1.09
T18	62.05	55.93	6.12	9.15	31.62	5.08	2.53	18.79	0.61	1.03
T61-1	37.75	32.13	5.62	5.71	18.18	3.03	1.90	10.59	0.76	0.92
矽卡岩型										
T10-1	3.68	2.61	1.07	2.43	7.49	5.34	1.25	4.01	0.70	1.06
J5	2.65	1.83	0.82	2.23	6.75	4.44	1.24	3.68	0.70	0.88
复合型										
T14	8.03	6.82	1.21	5.62	16.81	7.08	1.31	9.70	0.52	1.03

注: 由有色金属桂林矿产地质测试中心检测。比值单位为 1。

表4 铜绿山铜铁矿单矿物爆裂温度分析结果

Table 4 Analytical results of decrepitation temperatures of individual minerals in the Tonglushan Cu-Fe deposit

序号	单矿物	爆裂温度/℃	资料来源
1	黄铜矿	282	本文
2	黄铜矿	322	
3	黄铜矿	297	
4	磁铁矿	370	苏欣栋等,1994

测试单位:中科院地质与地球物理研究所;爆裂仪:TD-4型矿物包裹体爆裂测温仪;测温热电偶:EU-2型;记录仪:X-Y记录仪(上海自动化仪表二厂),其中X轴记录温度毫伏数(1 mV/cm)。

化物阶段的成矿温度。隐爆角砾岩型矿体的成矿温度低于矽卡岩型矿体的成矿温度。

隐爆角砾岩型金(铜)矿体是在矽卡岩型铜铁矿体基础上经过多次隐爆作用形成的。

4 隐爆角砾岩型金铜矿体的分布及找矿前景

隐爆角砾岩型金(铜)矿体在铜绿山的发现,对指导矿区找矿勘探工作具有重要意义。

研究发现,矿区存在自南西至北东近等间距排列的多条NW向破碎带(图1,A带、B带、C带和D带),XI、VIII、VII、IX号及MI号(民采矿)各矿体分别位于诸破碎带内,各破碎带的成矿条件非常相似。

A带:长700 m,宽300 m, $w_{Cu} 2.76\%$, $w_{Au} 1.11 \times 10^{-6}$ 。带内的XI号矿体在延伸-700 m处仍见矿体,2线钻孔在进尺深度600 m处见破碎带;1线钻孔在深1000 m处仍然见黄铜矿角砾和磁铁矿角砾。可见该矿带规模之大。

B带:长700 m,宽150 m, $w_{Cu} 1.46\%$, $w_{Au} 1.38 \times 10^{-6}$ 。带内9线500 m深处存在磁铁矿角砾;13线365 m处仍然有碎裂黄铁矿。

C带:长1000 m,宽250 m, $w_{Cu} 1.35\%$ 。31线于-400 m处及35线于-850 m处所见矿体,均应为角砾岩型铜金矿体。

D带:长900 m,宽大于150 m, $w_{Cu} 4.17\%$, $w_{Au} 1.47 \times 10^{-6}$ 。带内39线钻孔-550 m以下仍见破碎带及铜矿体(未分析金)。

由此可看出,由南西至北东的4个成矿带规模巨大,完全可能形成类似XI号的铜金工业矿体。如果这种判断得到证实,那么,NNE向和NE向2条矿带就连成一个北偏东方向,地表至少长2350 m、宽

1250 m的矽卡岩型铜铁矿和隐爆角砾岩型金(铜)矿相间排列的大矿带,此矿带囊括了铜绿山矿区几乎所有矿体,其潜在的经济价值和地质意义非常大。但矿区北部由于地表及人为覆盖(排土场)严重,北部矿体地下坑道又多被喷浆和支护,对研究工作的开展非常不利,所以,要开展进一步工作难度很大。

5 结论

铜绿山隐爆角砾岩型金(铜)矿体,为叠加于矽卡岩型铜铁矿体上,经隐爆角砾岩化形成的,是岩浆侵入后热液-构造演化的结果。其与矽卡岩型矿体在时间上、空间上、矿体的结构构造上、成矿元素以及稀土元素等方面,具有规律性的演化趋势,反映两者在成因上的密切联系。隐爆角砾岩型金(铜)矿体的总体分布与矽卡岩型铜铁矿体的展布近于垂直,反映了岩浆侵入后区域构造应力场的急剧变化及隐伏基底构造的再活动。

铜绿山矿床隐爆角砾岩型金(铜)矿的发现为铜绿山矿床的进一步找矿增储工作指明了方向。它与近来在同一成矿区的丰山矿田所发现的卡林型金矿(刘继顺等,2004)一样,丰富了长江中下游与中酸性侵入岩有关的铁铜金矿成矿系列的理论,暗示长江中下游地区仍将是重要的找矿增储区之一。

致谢:工作过程中得到大冶有色金属公司和铜绿山矿的大力支持,特别是王根、王勇、鲍侠杰、罗元新、张泽湖、周承芝、董泽振等的帮助,特此致谢!

References

- Barker E M and Andrew A S. 1991. Geological, fluid inclusion, and stable isotope studies of the gold-bearing breccia pipe at Kinston, Queensland, Australia[J]. *Econ. Geol.*, 86(4): 810~830.
- Bryner L. 1961. Breccia and pebble columns associated with epigenetic ore deposits[J]. *Econ. Geol.*, 56(2): 488~508.
- Cao Y F and Li S H. 1999. The mineralizing characteristics of explosion breccia typed gold deposit[J]. *Gold*, 20(9): 12~16(in Chinese with English abstract).
- Ding J H, Xu W Y, Wu H Z. 1996. Associated gold deposits of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 227~232(in Chinese).
- Feng S Z. 2003. The types and main ore control factors of associated gold deposits in the east of china[J]. *Gold Geology*, 9(3): 9~14(in Chinese with English abstract).
- Gu L X, Chen P R, Ni P, et al. 2002. Comparative research on ore-forming fluids for the main types of hydrothermal copper-gold deposits

- in the middle and lower reaches of the Yangtze river[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 38(3): 392 ~ 407(in Chinese with English abstract).
- Henly R W. 1991. Epithermal gold deposits in the volcanic terranes [A]. In: Forster R P, ed. *Gold metallogeny and exploration*[C]. Blackie and Sons Ltd., Glasgow. 137 ~ 142.
- Lin S L, Yong Y Y and Gao D F. 2003. Geological characteristics and ore contents in the cryptoexplosive breccias from eastern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 23(3): 49 ~ 53(in Chinese with English abstract).
- Liu J S, Shu G L and Gao Z Q. 2004. Geologic and geochemical features of the Carlin-type gold ore in Fengshan orefield of eastern Hubei[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 379 ~ 385(in Chinese with English abstract).
- Liu Z G. 2002. Geological feature and the relation of ore-formation to magmas of the tonglushan Cu-Fe deposit[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 24(4): 207 ~ 214(in Chinese with English abstract).
- Long W G, Xie S Z and Li S X. 2000. Discovery of anindosinian explosive breccia pipe in Tunchang area, Hainan island[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 3:42 ~ 45(in Chinese with English abstract).
- Luo Z K, Miao Y L and Guan K. 1999. Breccia-hosted Au deposit: An Au deposit type to which attention should be paid[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 14(4): 15 ~ 23(in Chinese with English abstract).
- Ma S G. 1999. A study on mineralization of phlogopite skarn in Tonglushan mine[J]. *Mining R. & D.*, 19: 39 ~ 42 (in Chinese with English abstract).
- Qi X X, Kuang H W, Chen P L, et al. 2002. Geochemical characteristics of Yanshanian intrusions in the middle-lower reaches of Changjiang River[J]. *Resources Survey & Environment*, 23(1): 52 ~ 59(in Chinese with English abstract).
- Shu Q A, Chen P L and Cheng J R. 1992. Fe-Cu minerals geology of the east part in Hubei Province [M]. Beijing: Metallurgy Pub. House. 160 ~ 165(in Chinese).
- Sillitoe R H, Barker E M and Brook W A. 1984. Gold deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a Maar volcano at Wau, Papua New Guinea[J]. *Econ. Geol.*, 79(4): 638 ~ 655.
- Sillitoe R H. 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs [J]. *Econ. Geol.*, 80(6): 1467 ~ 1514.
- Thompson T B, Tripple A D and Dwelley P C. 1985. Mineralized vein and breccias of the Cripple Creek District, Colorado[J]. *Econ. Geol.*, 80(6): 1669 ~ 1688.
- Wang Z B. 2001. Discussion of cryptoexplosive rocks and the formation model[J]. *Contrib. Geol. & Mineral Resour. Res.*, 16(3): 201 ~ 205(in Chinese with English abstract).
- Wu C L, Xu W S and Liu C M. 1998. Explore geochemical model of the main type copper deposits in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 65 ~ 103(in Chinese).
- Zhang S L. 2001. Metallogenic environment, geological characteristics and prospecting criteria of skarn copper deposits[J]. *Mineral Resources and Geology*, 15(5): 315 ~ 319(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z F. 1992. Study on the intrusive contact structure systems and their ore-controlling model in southeast Hubei Province[J]. *Earth Science*, 17(4): 381 ~ 389(in Chinese with English abstract).
- Zhou T F and Yue S C. 1998. Geochronology and geochemistry of the Cu, Au mineralization belt in the middle and lower reaches of the Yangtze River area[J]. *Chinese Science Bulletin*, 43(Supp.): 164(in Chinese).

附中文参考文献

- 曹益富, 李世华. 1999. 爆破角砾岩体型金矿床成矿特点[J]. *黄金*, 20(9): 12 ~ 16.
- 丁俊华, 许文渊, 吴厚泽. 1996. 中国伴生金矿床[M]. 北京: 地质出版社. 227 ~ 232.
- 冯守忠. 2003. 中国东部伴生金矿床的类型及主要控矿因素[J]. *黄金地质*, 9(3): 9 ~ 14.
- 顾连兴, 陈培荣, 倪培, 等. 2002. 长江中、下游燕山期热液铜-金矿床成矿流体[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 38(3): 392 ~ 407.
- 林仕良, 雍永源, 高大发. 2003. 西藏东部隐爆角砾岩特征及其含矿性[J]. *沉积与特提斯地质*, 23(3): 49 ~ 53.
- 刘继顺, 舒广龙, 高珍权. 2004. 鄂东丰山矿田卡林型金矿地质地球化学特征[J]. *地学前缘*, 11(2): 379 ~ 386.
- 刘治国. 2002. 铜绿山铜铁矿床地质特征及岩浆岩与成矿关系探讨[J]. *化工矿产地质*, 24(4): 207 ~ 214.
- 龙文国, 谢盛周, 李孙雄. 2000. 海南岛屯昌地区发现印支期爆破角砾岩筒[J]. *华南地质与矿产*, 3:42 ~ 45.
- 罗镇宽, 苗来成, 关康. 1999. 角砾岩型金矿床——一种值得重视的金矿类型[J]. *地质找矿论丛*, 14(4): 15 ~ 23.
- 马松贵. 1999. 铜绿山矿金云母矽卡岩含矿性研究[J]. *矿业研究与开发*, 19: 39 ~ 42.
- 戚学祥, 旷宏伟, 陈培良, 等. 2002. 长江中下游燕山期侵入岩地球化学特征及其地质意义[J]. *资源调查与环境*, 23(1): 52 ~ 59.
- 舒全安, 陈培良, 程建荣. 1992. 鄂东铁铜矿产地质[M]. 北京: 冶金工业出版社. 160 ~ 165.
- 王照波. 2001. 隐爆岩及其形成模式探讨[J]. *地质找矿论丛*, 16(3): 201 ~ 205.
- 吴承烈, 徐外生, 刘崇民. 1998. 中国主要类型铜矿勘查地球化学模型[M]. 北京: 地质出版社. 65 ~ 103.
- 张守林. 2001. 矽卡岩型铜矿成矿地质环境、成矿地质特征及找矿标志[J]. *矿产与地质*, 15(5): 315 ~ 319.
- 章增凤. 1992. 鄂东南地区岩体接触构造体系类型及其控矿模式研究[J]. *地球科学*, 17(4): 381 ~ 389.

Discovery of cryptoexplosive breccia type Cu (- Au) orebodies in Tonglushan skarn-type Cu-Fe deposit of Hubei Province and ore-searching vista

LIU Ji-shun¹, MA Guang¹ and SHU Guang-long^{1,2}

(1 Institute of Earth Science and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China;

2 Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract

The Tonglushan deposit in southeastern Hubei Province is a large-size skarn type Cu-Fe deposit. Cryptoexplosive breccia type Cu-Au orebodies were recently found in this deposit. The new orebodies are frequently controlled by NW-striking compound structure comprising fault-cryptoexplosive breccia belt-contact zone along the southern and the northern boundary of the marble residue in the upper plate of the skarn type orebodies. In the steeply-dipping vein form, the orebodies are nearly vertical to the NW-striking skarn type ore belt. Ores are of brecciated structure, with breccia being mainly marble and plagioclase rocks. There are also some massive magnetite ores and kaolinites. Cements are mainly fine fragments and medium-low temperature hydrothermal minerals, such as quartz, chalcedony, kaolinite, chalcopyrite and pyrite. The average copper and gold contents in ores are 2.54×10^{-2} and 3.44×10^{-6} , respectively. Cryptoexplosive breccia type Cu-Au orebodies were formed at the late evolutionary stage of ore-forming fluids. They were formed later than and often superimposed on skarn type Cu-Fe orebodies. Therefore, rich Cu-Au orebodies as well as independent Au orebodies were formed. The discovery of cryptoexplosive breccia type Cu-Au orebodies contributes greatly to increasing the reserves of the Tonglushan deposit and to studying its metallogenic system.

Key words: geology, cryptoexplosive breccia, skarn, Cu-Fe ore-body, Cu-Au ore-body, Tonglushan