

文章编号:0258-7106(2004)02-0216-09

铜陵矿集区铜金矿床叠加改造过程中的排金效应*

曾普胜¹ 裴荣富¹ 蒙义峰¹ 侯增谦¹ 杨竹森¹徐文艺¹ 谢玉玲² 徐九华² 梅燕雄¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 北京科技大学,北京 100082)

摘要 通过对铜陵地区各矿田内的矿床的观察发现,它们均含铜、金,但各矿床含铜、金的差异性比较大。该区海西期同生沉积的 SEDEX 型块状硫化物矿床和燕山期岩浆热液矿床的成矿物质来源具有二元性。在峙门口(铜金)硫铁矿、水竹岭金铜矿和虎山金矿(牛山硫铁矿)等较为典型的海西期块状硫化物矿床中,可圈出独立的金(铜)矿体;以凤凰山铜矿田、小金山金矿、笠帽山金矿等为典型代表的燕山期岩浆热液矿床,也具有较高的金、铜品位,可形成工业矿体。但无论是海西期同生沉积矿床还是燕山期岩浆热液矿床,规模都比较小。有些矿床尽管存在海西期同生沉积成矿作用和燕山期岩浆热液成矿作用,但铜、金分配明显不同,品位差异悬殊。导致水平方向或垂直方向上铜、金分配差异的原因可归结为矿床叠加改造过程中的温度场控制的“排金效应”,形成“下铜上金”、“内铜外金”(储国正等,1992)的矿床分布格局。

关键词 地质学 排金效应 岩浆成矿 块状硫化物矿床 叠加改造 铜陵

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

1 问题的提出

在安徽铜陵矿集区内,燕山期含金的岩浆热液叠加于海西期喷流沉积含金黄铁矿型块状硫化物矿床之上的叠加改造成矿作用很普遍(曾普胜等,2002;曾普胜,2002)。通过对铜陵地区各矿床的观察发现,铜陵地区各矿田内的矿床均不同程度地含铜、金,但矿床含铜、金的差异性比较大。区内的两类矿床,即海西期同生沉积的 SEDEX 型块状硫化物矿床和燕山期岩浆热液矿床都含铜、金。海西期矿床以峙门口(铜金)硫铁矿、水竹岭金铜矿和虎山金矿(牛山硫铁矿)等较为典型,可圈定独立的金(铜)矿床并作为主要开采对象;燕山期岩浆热液矿床以凤凰山铜矿田、小金山金矿、笠帽山金矿等为典型代表,也具有较高的金、铜品位,可形成工业矿体。但是,这两类矿床的规模都比较小,难以同叠加改造矿床(如狮子山矿田和铜官山矿田)的规模相提并论。同时需要注意的事实是,在铜陵地区,尽管海西期同

生沉积矿床和燕山期岩浆热液矿床共同存在,并且产出的层位相同,但铜、金分配明显不同,品位差异巨大,以具有相同层位的冬瓜山矿床和马山矿床为例,冬瓜山矿床伴生金仅为 0.15 g/t,铜矿床平均品位 1%左右;而马山金矿平均品位可达 10 g/t,伴生铜 0.1%左右(马山金矿地质科提供的生产数据)。垂向上比较,与冬瓜山铜矿床同处于狮子山矿田内的朝山金矿矿体的平均金品位也可高达 16.47 g/t,伴生的铅、锌、铜品位很低。是什么机制控制着金的分配呢?实际的观测资料表明,导致铜、金分配差异的原因可归结为“排金效应”:即在矿床叠加改造过程中,后期发生的地质作用,如岩浆作用,在其温度影响范围之内,热液作用于先存的含铜、金地质体(如铜陵地区的海西期块状硫化物)之上,使化学活动性相对较强的金向上、向外迁移,而相对惰性的铜多部分“原地不动”。其结果,金被排除带走,导致铜、金分离。形成“下铜上金”、“内铜外金”(储国正等,1992)的矿床分布格局。

* 国土资源部科技司专项研究计划(编号:B0002-2、B0002-3)和地质调查项目(编号:20010000004)资助

第一作者简介 曾普胜,男,1964年生,副研究员,主要从事岩石学和矿床学研究。Email: zengpusheng@sohu.com。

收稿日期 2003-12-15;改回日期 2004-02-24。张绮玲编辑。

2 地质背景

铜陵地区位于中国东部大别-苏鲁造山带南侧，属于大别造山带与扬子地块作用形成的对冲带(唐永成等,1998)。铜金矿床主要沿东西向展布的铜陵-南陵深断裂控制的岩浆成矿带分布(常印佛等,1991;吴才来等,2003)，由铜官山矿田、狮子山矿田、

新桥矿田、凤凰山矿田、沙滩脚矿田等构成著名的铜陵矿集区(图 1)。少数矿床分布于铜陵地块南侧的五贵桥、丁桥一带。从空间分布上看,岩浆岩活动与本区铜金矿床的形成有着密切的关系。同时,岩浆活动叠加于早期形成的(石炭纪-二叠纪)SEDEX 型块状硫化物之上,使矿体的规模变大,品位增高(曾普胜等,2002)。

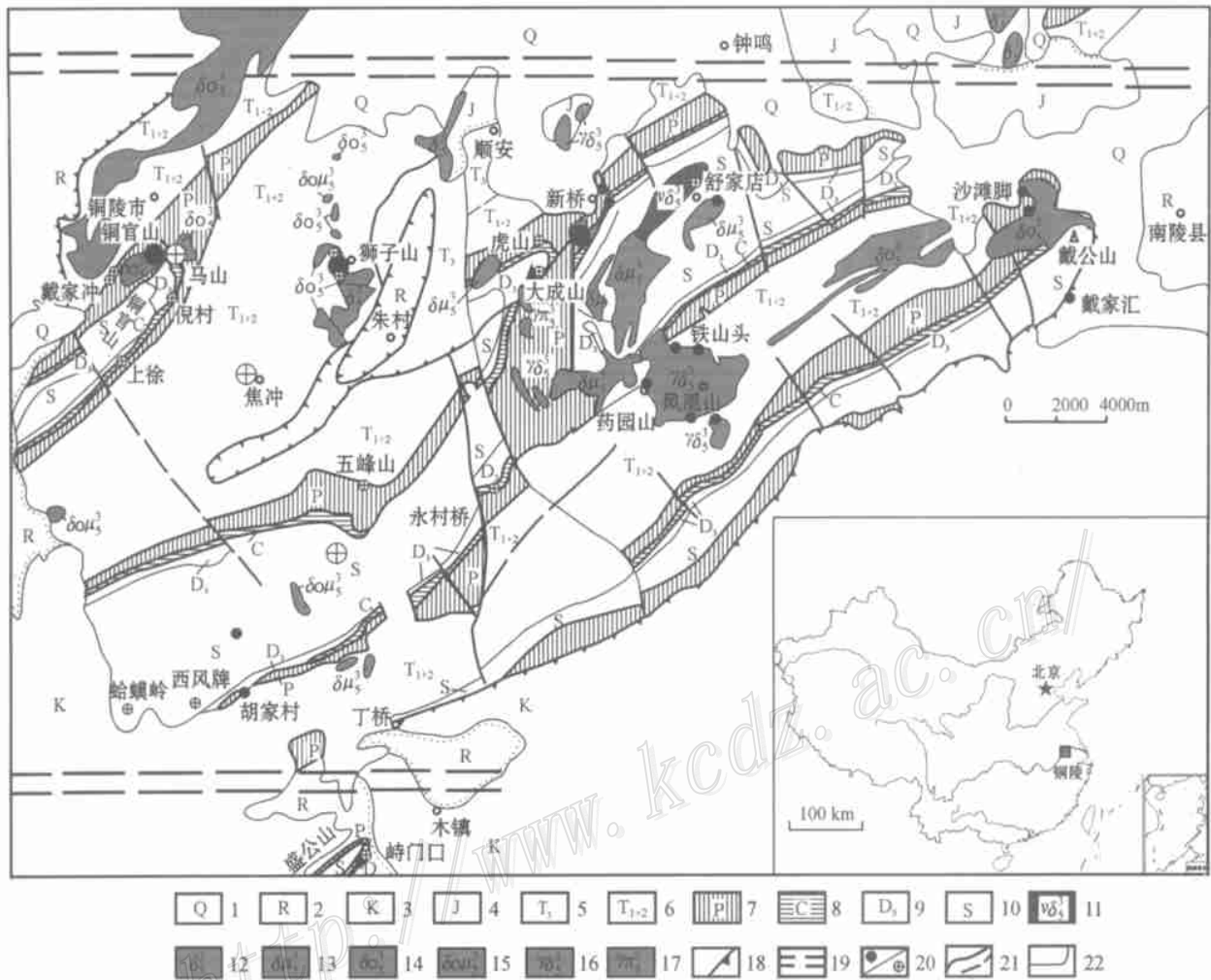


图 1 铜陵地区铜金矿床分布图(据安徽地勘局 321 地质队,1990[●]改编)

1—第四系;2—第三系砂砾岩;3—白垩系砂岩、砾岩;4—侏罗系碎屑岩;5—上三叠统砂页岩;6—中、下三叠统灰岩、白云岩;7—二叠系灰岩、硅质岩和页岩;8—石炭系白云岩、灰岩和碎屑岩;9—上泥盆统石英砂岩和粉砂岩;10—志留系砂岩、粉砂岩;燕山期岩浆岩:11—辉石闪长岩;12—闪长岩;13—闪长玢岩;14—石英闪长岩;15—石英闪长玢岩;16—花岗闪长岩;17—花岗闪长岩;18—断陷盆地边界;19—基底断裂;20—铜或金矿床(点);21—断层;22—地质界线

Fig.1 Distribution of copper and gold deposits in Tongling area, Anhui Province (Modified after No.321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources, 1990)

1—Quarternary;2—Tertiary sandstone and conglomerate;3—Cretaceous sandstone and conglomerate;4—Jurassic clastics;5—Upper Triassic sandstone and shale;6—Lower- Middle Triassic limestone and dolomite;7—Permian limestone, chert and shale;8—Carboniferous dolomite, limestone and clastics;9—Upper Devonian quartz sandstone and siltstone;10—Silurian sandstone and siltstone; **Yanshanian magmatic rocks**: 11—Pyroxene diorite;12—Diorite;13—Diorite porphyry;14—Quartz diorite;15—Quartz diorite porphyry;16—Granodiorite;17—Granodiorite;18—Boundary of fault basin;19—Base ment fault;20—Copper or gold deposit (ore spot); 21—Fault; 22—Geological boundary

● 安徽省地矿局 321 地质队,中国地质大学(北京).1990.铜陵地区铜、金等矿床综合研究.

3 叠加改造过程中的排金效应

3.1 叠加前的海西期黄铁矿型块状硫化物特征及金、铜含量

铜陵地区的块状硫化物矿层主要顺层分布于上石炭统黄龙组和船山组($C_2h + C_2c$)底部,经后期褶皱作用,有些在背斜轴部(如舒家店-大成山-永村桥背斜和铜官山背斜)直接出露于地表,而向斜轴部(如顺安-盛冲复向斜的冬瓜山)则隐伏于地下。虎山矿区(图2)可见到同生断裂(F_1)控矿,同生断裂两侧的褪色蚀变带内的石英砂岩原岩(D_3w^1)已变质为石英岩。在东西两侧的采坑中可见到大量的角砾岩,角砾包括下伏地层中的石英砂岩、先成的黄铁矿等,呈棱角状,被胶黄铁矿胶结。新桥矿区的第19勘探线可见喷气口产生的铁碧玉构成的角砾岩筒(曾普胜等,2002;曾普胜,2002),在喷气孔旁侧也可见到因硫化物堆积超过边坡稳定角时产生的含复成

分滑塌角砾岩,角砾由块状黄铁矿、铁碧玉、砂岩等组成,它们被胶黄铁矿或蓝色的粘土岩胶结。在水竹岭一带,块状硫化物有明显的分层现象,下部为黄铁矿+黄铜矿(黄矿),上部主要为铁闪锌矿+方铅矿(黑矿),但白矿(硫酸盐)不发育。

矿层之下普遍存在一层石英细砾岩(局部被胶状黄铁矿胶结)(图2)或含硫化物的纹层状粘土(受热变质后成为含硫化物蛇纹石-滑石岩),区域上具有可对比性。块状硫化物矿层的下伏五通组石英砂岩,普遍被热水蚀变为石英岩状砂岩或石英岩等,并可见到含金的网脉状矿体(如峙门口、水竹岭、半山李家、新桥、五峰山等地)。矿层之上被分布较广的一套白云质碳酸盐岩覆盖。

总之,铜陵地区海西期SEDEX型块状硫化物矿床的双层结构发育,下伏网脉状矿体和上覆层状矿体紧密伴生,层控的热水沉积岩受同生断裂控制,从喷流中心向外,矿物组合有分带现象:(铁碧玉角砾岩筒)→结晶黄铁矿+胶状黄铁矿±黄铜矿±铁闪

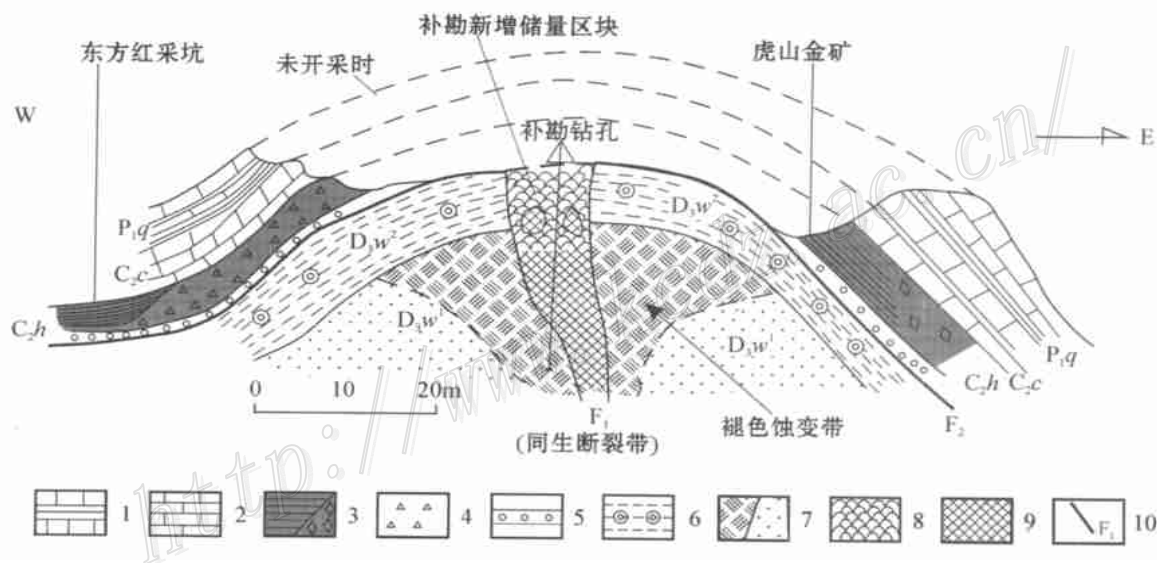


图2 虎山金矿区沉积喷流矿床剖面示意图

1—栖霞组(P_1q)灰岩夹硅质岩;2—船山组(C_2c)灰岩;3—含矿的黄龙组(C_2h)层状黄铁矿、胶黄铁矿、闪锌矿+方铅矿±菱铁矿及白云岩;4—角砾状黄铁矿矿石;5—黄龙组底部黄铁矿胶结的石英细粒岩层;6—五通组上段(D_3w^2)含胶黄铁矿结核之粉砂岩页岩;7—五通组下段(D_3w^1)重结晶石英砂岩岩筒/石英砂岩;8—含金铁帽;9—蜂巢状、团斑状黄铁矿-石英脉金矿体;10—断裂及编号: F_1 —同生断裂; F_2 —层间断裂

Fig.2 Sketch geological section of Sedex in the Hushan gold district

1—Qixia Formation: limestone intercalated with chert; 2—Chuanshan Formation: limestone; 3—Ore-bearing Huanglong Formation: layered pyrite, melnicovite, sphalerite and galena and / or siderite and dolomite; 4—Brecciated pyrite ore; 5—Fine quartz pebble bed at the bottom of Huanglong Formation; 6—Upper Wutong Formation: pyrite nodule-bearing siltstone and shale; 7—Lower Wutong Formation: Recrystallized quartz sandstone pipe or quartz sandstone; 8—Gold-bearing gossan; 9—Gold orebody of scrobiculate and spotted sulfide-quartz veins; 10—Fault and its serial number: F_1 —Syngenetic fault, F_2 —Interlayer fault

锌矿 ± 方铅矿 → 胶状黄铁矿 → (重晶石 + 硬石膏) → 炭质层 + 粘土或白云石 + 石英 + 胶状黄铁矿层。除了石炭系的块状硫化物之外,在二叠系地层中局部出现热水沉积岩,如硅质岩、硅质页岩以及菱锰矿等存在于大成山背斜和青山背斜等地的栖霞组、孤峰组和大隆组等层位中(曾普胜等,2004)。尽管前人曾报道在天马山、狮子山等地有火山岩产出(朱雅林,1992;侯生秀,1985),但总体看,铜陵地区海西期的块状硫化物矿床属于缺乏火山活动的 SEDEX 型块状硫化物矿床。

石炭系块状硫化物矿床的矿石矿物主要为黄铁矿,少量黄铜矿,局部有铁闪锌矿、方铅矿。脉石矿物有石英、方解石,局部可见硬石膏和重晶石。总体以黄铁矿占绝对优势,属黄铁矿型块状硫化物矿床。黄铁矿胶状结构发育,新桥一带可见草莓状结构。在铁碧玉角砾岩筒中可见到黑烟囱及热水热液在上升通道内形成的叠锥构造(cone-in-cone structure),块状硫化物内多处可见热水溶液交代形成的(石英-

黄铁矿)火焰状构造,冬瓜山、马山、松树山等地在块状硫化物矿层底部的含硫化物滑石-蛇纹石岩发育纹层状、马尾丝构造(horsetail structure)。

块状硫化物中的铜、金含量:铜陵地区,海西期 SEDEX 型块状硫化物不同程度地含铜、金,并主要集中在近喷口相的含铜闪锌矿内和石英网脉带内,部分矿区可圈出独立的铜金矿体。以峙门口硫铁(金铜)矿为例(图 3),矿床平均 w_{Au} 0.68 g/t, w_{Cu} 0.25%, w_{Ag} 16.50 g/t,无岩浆活动叠加;水竹岭块状硫化物 w_{Au} 1 g/t,风化铁帽 $w_{Au} > 4$ g/t;半山李家块状硫化物下盘的网脉带金矿 w_{Au} 6 ~ 40 g/t;铜官山背斜南端(上徐、戴家冲、古松、古圣等地)的金矿 w_{Au} 1.5 g/t,氧化矿 w_{Au} 4 ~ 10 g/t。新桥、虎山金矿远离岩体,胶黄铁矿重结晶很弱的地段层状硫化物及其喷口之下的同生断裂中尤其富金(w_{Au} 4 ~ 40 g/t),其中热水反复活动导致的团斑状、蜂巢状或丝瓜瓢状石英网脉发育(图 2)。

块状硫化物地球化学特征:通过硫化物的同位

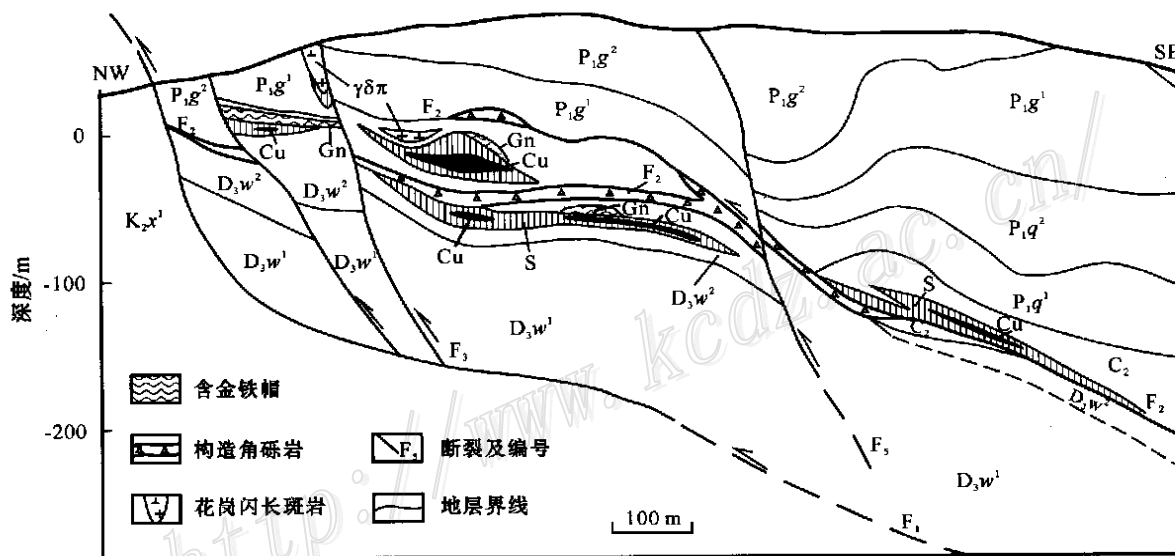


图 3 峙门口硫铜金矿床纵剖面图(据安徽 321 地质队,1986^①)

地层: $D_3 w^1$ —五通组下段石英砂岩; $D_3 w^2$ —五通组上段泥质粉砂岩; C_2 —上石炭统黄龙组、船山组白云岩、灰岩; $P_1 q^1$ —栖霞组下段含沥青灰岩; $P_1 q^2$ —栖霞组上段灰岩,含燧石结核灰岩夹燧石层; $P_1 g^1$ —孤峰组下段含锰硅质岩及磷结核; $P_1 g^2$ —孤峰组上段硅质岩、硅质灰岩; $K_2 x^1$ —宣南组下段紫红色细砂岩、砾岩,含石膏泥岩; 矿体: S—硫铁矿矿体; Cu—铜矿体; Gn—含金铁帽

Fig. 3 Geological section of the Zhimenkou S-Cu-Au deposit (After No.321 Geological Party, 1986)

$D_3 w^1$ —Upper Devonian quartz sandstone; $D_3 w^2$ —Upper Devonian argillaceous siltstone; C_2 —Upper Carboniferous dolomite and limestone; $P_1 q^1$ —Lower Permian bitumen-bearing limestone; $P_1 q^2$ —Lower Permian limestone and flint-bearing nodule limestone; $P_1 g^1$ —Lower Permian manganese-bearing chert and phosphorus nodule; $P_1 g^2$ —Lower Permian chert and siliceous limestone; $K_2 x^1$ —Upper Cretaceous fine purple sandstone, conglomerate and gypsum-bearing mudstone; Ore-bodies: S—Pyrite orebody; Cu—Copper orebody; Gn—Gold-bearing gossan

① 安徽省地矿局 321 地质队, 1986. 安徽省青阳县峙门口硫铁矿勘探地质报告.

素年龄测定,峙门口含铜金硫铁矿的 Re-Os 等时线年龄为(303 ± 33) Ma (MSWD = 5.6) (蒙义峰等, 2004)。前人用 Rb-Sr 等时线法测定新桥硫铜金层状矿体矿石等时线年龄为(313 ± 32.7) Ma (谢华光等, 1995), 与其赋存的地层层位晚石炭世时代相吻合。可见, 290 ~ 321 Ma 大致可代表铜陵地区的海西期喷流-沉积矿床的活动时期。

海西期块状硫化物的黄铁矿 Co/Ni 比值 < 1 (多在 0.2 ~ 0.83 之间) (岳文哲等, 1993), 明显不同于成矿温度更高的岩浆热液成因的黄铁矿 (Co/Ni > 1)。与块状硫化物密切相伴的似层状、透镜状硬石膏、重晶石等硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 值范围为 11.2‰ ~ 22.8‰, 平均值为 18.2‰, 与 Sangster (1976) 统计的石炭纪海水硫同位素组成一致, 反映喷流沉积形成的硫酸盐主要为海水硫来源。

3.2 燕山期岩浆岩的金含量

岩浆活动带来的铜、金也极为重要, 铜陵地区燕山期各类岩浆岩都含有较高的铜、金 (表 1)。这些岩浆表现出明显的成矿专属性 (邓晋福等, 1980; 朱上庆等, 1988; 杜杨松等, 2000), 小金山、笠帽山等地只有岩浆岩而无早期的同生沉积矿层存在, 有独立的金矿体存在, 品位高达 4 ~ 16 g/t。凤凰山矿田内目前尚未见到海西期同生沉积矿床, 药园山、宝山陶、仙人冲、江家冲、清水塘、铁山涝等地的矽卡岩型铜矿床都具有一定规模。

由上可见, 铜陵地区的铜、金, 既有同生沉积时期的, 也有岩浆活动带来的, 显示出铜、金来源的二元性。需要强调的是, 尽管上述海西期块状硫化物和燕山期岩浆岩都含金 (铜) 并形成矿床, 但总体来看, 这些矿床 (点) 在铜陵地区的铜金矿床中规模相

对较小, 难以同两期成矿作用叠加的狮子山矿田和铜官山矿田中的矿床相比。

3.3 叠加改造后的铜、金含量

狮子山矿田可当作叠加成矿作用过程中金品位垂向变化 (图 4) 的典范。铜官山矿田则是侧向的排金效应保留比较完整, 尤其以马山金矿为典型。

燕山期岩浆成矿作用叠加的过程中提供的能量巨大, 且温度可以很高。东狮子山隐爆角砾岩筒 (图 4 之 ⑥) 的熔融包裹体温度可达 920 °C 以上 (凌其聪等, 1998); 岩石中细粒闪长质包体形成温度为 997 °C, 压力为 0.43 GPa, 相当于 1 ~ 3 km 深度; 辉石二长闪长岩中的辉石岩包体形成于 1126 °C、0.80 GPa 的条件下, 辉石巨晶形成于 1068 °C、0.81 GPa 的条件下, 相当于 20 ~ 30 km 深度 (王训诚等, 2002)。岩浆的热场促使胶黄铁矿 (FeFe_2S_4) 向细粒结晶黄铁矿 (FeS_2) → 粗晶黄铁矿 (FeS_2) 或磁黄铁矿 (FeS) → 磁铁矿 (FeOFe_2O_3) 转变 (崔彬, 1987), 并可见到黄铁矿、磁黄铁矿的后成合晶 (symplectite) (顾连兴等, 1998)。在这种矿物晶格发生重大变化的叠加改造过程中, 化学活动性差异较大的金、铜重新分配在所难免。

这些岩浆, 都对先成的岩石或矿物进行了叠加和改造。同时岩浆自身带来的金、铜等成矿物质也融入此时的成矿流体中参与成矿。由于温度场作用和铜、金 2 种元素的地球化学行为的差异性, 使得从岩浆深处带来的铜, 在遇到块状硫化物时, 由于硫逸度和氧逸度的增加, 一部分叠加到早期的含铜黄铁矿型块状硫化物之上, 使层状矿体更富铜; 余下的铜随成矿流体继续上升至更高位置的有利部位 (如花树坡、老鸦岭、大团山、东-西狮子山等地, 图 4 之 ② ③ ④ ⑤ ⑥) 成矿。

在高温条件下, 金的性状却不同于铜。在持续的热场作用下, 硫逸度较高时, 金不仅不沉淀, 而且早期形成的块状硫化物中的金被成矿流体萃取出来, 并随之上移, 随温度下降逐步沉淀于有利部位。需要指出的是, 金的向上迁移富集不是一次性完成的, 它与岩浆活动期次有着密切的关系。

就狮子山矿田而言, 第一期的燕山期岩浆岩当是朝山 (白芒山) 辉石二长闪长岩 (其包体辉石岩年龄为 140 Ma, 唐永成等, 1998), 由于它侵入早, 得到

表 1 铜陵地区主要侵入岩体的 Cu、Au 平均含量^{①②}

Table 1 Cu and Au contents of the major intrusions in Tongling area

岩体	$w_{\text{Cu}}/10^{-6}$	$w_{\text{Au}}/10^{-9}$
辉石二长闪长岩 (白芒山)	355.92	24.0
铜官山石英二长闪长岩	126.31	2.3
狮子山石英二长闪长岩	106.99	12.0
凤凰山花岗闪长岩	207.42	4.9
沙滩脚花岗闪长岩	46.76	4.2
世界花岗岩 (转引自张本仁等, 1994)	20	4.5

① 安徽省地矿局 321 地质队, 中国地质大学 (北京). 1990. 铜陵地区铜、金等矿床综合研究.

② 安徽省地矿局 321 地质队等. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究.

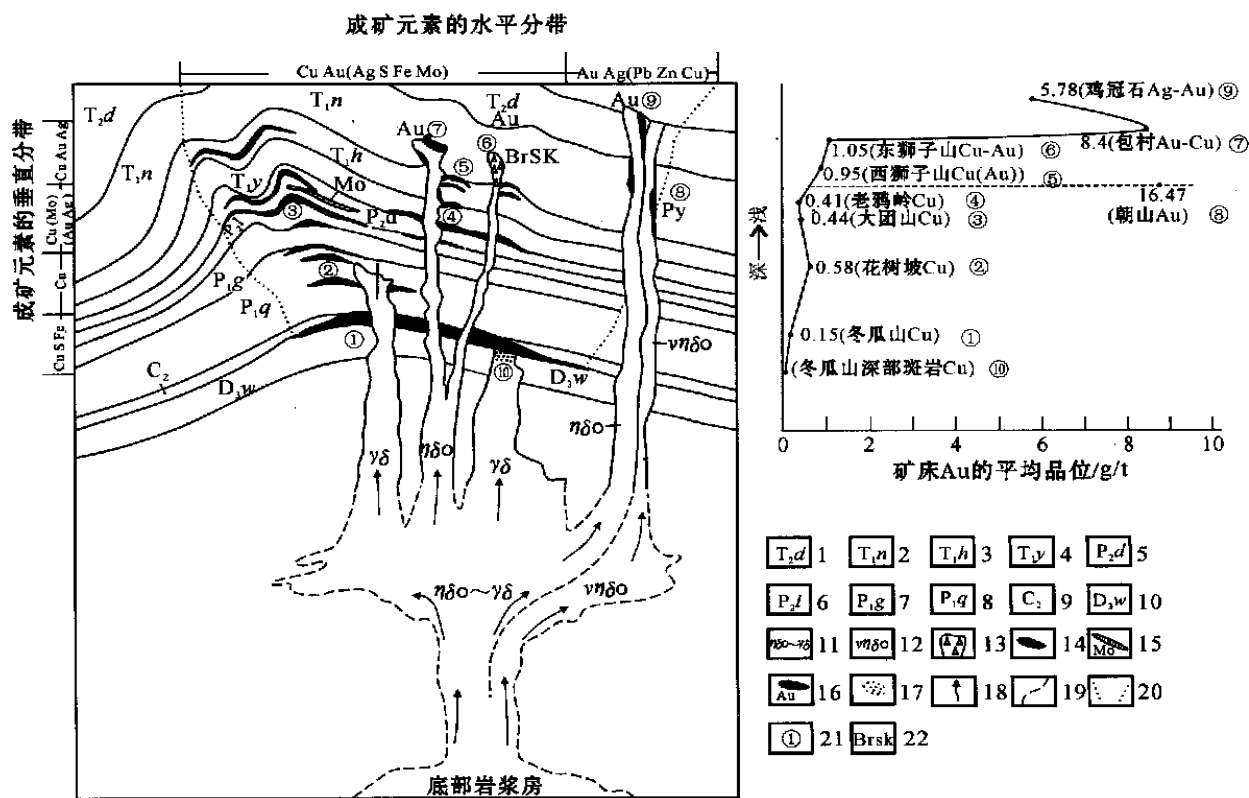


图 4 铜陵狮子山矿田金随深度变化趋势和推测深部岩浆演化示意图

(据黄许成等,1993 改编;矿床平均品位数据引自 321 队勘探资料[●]和唐永成等,1998)

- 1—东马鞍山组;2—南陵湖组;3—和龙山组;4—殷坑组;5—大隆组;6—龙潭组;7—孤峰组;8—栖霞组;9—黄龙组+船山组;10—五通组;
- 11—钙碱性系列石英二长闪长岩~花岗闪长岩;12—辉石二长闪长岩;13—隐爆角砾岩筒;14—铜矿体;15—钼矿体;16—金(银)矿体;
- 17—细脉浸染型铜钼矿体;18—岩浆流体运移方向;19—推测深部岩浆房;20—矿田边界;21—矿床编号;22—砂卡岩角砾岩筒

Fig.4 Variation of gold with depth and inferred evolution of magma in the depth of the Shizishan orefield, Tongling, Anhui Province

(After Huang Xucheng et al., 1993; data of average grade of deposits from Tang et al., 1998 and No.321 Geological Party)

- 1—Dongma' anshan Formation; 2—Nanlinghu Formation; 3—Helongshan Formation; 4—Yinkeng Formation; 5—Dalong Formation; 6—Longtan Formation; 7—Gufeng Formation; 8—Qixia Formation; 9—Hunaglong Formation and Chuanshan Formation; 10—Wutong Formation; 11—Calc-alkaline quartz monzodiorite-granodiorite; 12—Pyroxene monzodiorite; 13—Cryptobrecciated pipe; 14—Copper orebody; 15—Molybdenum orebody; 16—Gold or silver orebody; 17—Veinlet-disseminated Cu-Mo orebody; 18—Migration direction of magmatic fluid; 19—Inferred deep magma chamber; 20—Boundary of orefield; 21—Deposit number; 22—Skarn breccia pipe

的早期块状硫化物排除的金是充裕的。这个过程中形成的朝山金矿的品位高且储量也相对大,矿床的平均品位 $w_{Au} 16.47 \text{ g/t}$ (图 4 之 ⑧), 最高可达 145 g/t [●]。

相对而言,第二期钙碱性系列的石英二长闪长岩〔年龄在 $(135.8 \pm 1.1) \text{ Ma}$, 吴才来等, 1996〕无法再获取早期硫化物“馈赠”的大量金。尽管存在明显的热场排金效应,但总体金含量已大大降低,矿床中金的平均品位通常只有 1 g/t 左右,但仍远高于深部的冬瓜山(图 4 ①⑩)矿床。岩浆穿过硫化物层之后,使得岩浆岩体本身含铜增高,成矿流体富铜,如大团

山矿区(杜扬松等,2000)。

然而,第一期的辉石二长闪长岩富金和第二期的石英二长闪长岩富铜并不意味着辉石二长闪长岩具有富金而石英二长闪长岩具有富铜的专属性。穿过硫化物层的岩浆富金和铜本身就暗示着,侵入到狮子山矿田的岩体对同生沉积矿床进行叠加改造后,在较高的温度场($265 \sim 1126 \text{ }^\circ\text{C}$) (凌其聪等, 1998; 王训诚等, 2002; 肖新建等, 2002) 作用下使岩浆成分更加富铜,而金在热场作用下被向上排出,导致金在高位富集(图 4 之 ②③④⑤⑥)。因为只有那些穿过黄龙组地层(“矿胚层”)的辉石二长闪长岩才

● 安徽省地勘局 321 地质队, 1997. 铜陵地区砂卡岩型金矿找矿研究.

异常的富金,而像舒家店岩体那样未穿过矿胚层的辉石二长闪长岩体并不富金。

第三期岩浆岩在地表并未直接出露,但其成矿流体形成了“鸡冠石式”银金矿床。这类矿床包括鸡冠石银金矿床(图4之⑨)和包村金矿(图4之⑦)等。它们可能与更晚期的、较低温度的富金(银、硫酸)成矿流体的叠加有关,不属于第二期岩浆活动的产物。从野外产状看,这些矿床中,金集中于细脉状、网脉状的含炭质沥青-胶黄铁石英脉内。石英脉与煌斑岩脉密切相伴产出,含银金的硫酸盐矿物(如银黝铜矿等)、辉铋矿等低温热液矿物组合发育,呈近东西向和近南北向产出,并穿切第二期岩体形成的矽卡岩型矿体,表明这期流体产出于更晚期的张性地质背景中。含金矿脉产状近东西向和近南北向,可确定本期流体是在北西-南东向挤压导致的近东西-近南北向引张的背景条件下形成的。具有相同产状的岩脉,如铜官山花岗斑岩脉(114.76 ± 1.95 Ma(曾普胜,2002)、新桥闪长玢岩脉 110 Ma(Zhai et al., 1996)、与繁昌盆地火山岩年龄 116 Ma(唐永成等,1998)相近,说明本期成矿作用可能是与富金的安粗岩系列的火山岩(于学元等,1981; Wang et al., 1991; 邱检生,1992)有关的成矿流体叠加于铜陵地块之上所致。

铜官山矿田与狮子山矿田有着异曲同工之处。笔山岩体规模较大,侵入时基本与小铜官山的喷流沉积型矿体重合,因而岩体将大部分同生沉积的矿体融入自身的成矿物质中而拥有更加丰富的铁和硫(也包括铜、金等),只保留松栎山矿段和笔山矿段深部的同生沉积型矿体。由于岩体就位的空间为铜官山背斜核部,相对位置较高,氧逸度高,因而矿石矿物以氧化物(磁铁矿)为主。相邻的马山金矿的岩体虽然也侵入于同生沉积矿体内,但与笔山岩体相比,主岩体并未大规模叠加到早期的块状硫化物之上,改造的温度场较冬瓜山要低些($130 \sim 350$ °C,薛建寰等,1989)。这种温度较低和硫充分的条件适宜金的沉淀富集,因而在马山地区,块状硫化物本身成为金沉淀的最佳位置,形成富大的矿体。较笔山岩体而言,马山岩体的侵入位置偏离背斜核部,就位深度大,氧逸度低些,因而经岩体叠加改造后的矿体的矿石矿物以硫化物(磁黄铁矿、黄铁矿)为主,氧化物(磁铁矿)次之。温度分带的作用,致使叠加改造后的金矿体通常位于岩体的上部(铅锌矿居于中间)。小铜官山主矿体含金低,是因为岩体已被剥蚀了相

当一部分。在小铜官山剥蚀的大量氧化物废石中已选出大量的金(王训诚,个人通讯),可推测其在被剥蚀前的含金量较高。如考虑铜官山矿田的剥蚀部分,其叠加改造后铜、金分配的总面面貌当与狮子山矿田的相似。

4 结 论

(1) 铜陵地区的成矿物质来源具有二元性。海西期块状硫化物矿床可圈定独立的金(铜)矿体并作为主要开采对象;燕山期岩浆热液矿床也具有较高的金、铜品位,可形成工业矿体。但无论是海西期同生沉积矿床还是燕山期岩浆热液矿床,其规模都较小,难以达到大型规模。

(2) 导致铜、金分配差异的原因可能归结为矿床叠加改造过程中的温度场控制的“排金效应”:在热液作用下,活跃的金向上迁移,在温度相对较低的场所堆积,而铜相对惰性,多部分“原地不动”。其结果,形成“下铜上金”、“内铜外金”(储国正等,1992)的矿床分布格局。

需要说明的是,通过野外观察和室内研究,笔者获得了上述认识,但是,与此有关的一些基础问题,如在叠加改造过程中 Cu、Au 迁移和分离的化学过程,以及铜陵地区的 SEDEX 型矿床富铜、金而有别于全球同类矿床(通常富铅、锌、银)的内在原因等,现在还没有得到合理的答案,有待今后进一步的探讨。

致谢 野外工作得到马山金矿(青山金矿)生产技术科程年进科长,朝山金矿刘良根,狮子山铜业股份有限公司的陈邦国总工、周贵斌工程师,321 地质队许发友、姜章平、周育才等领导的大力支持和帮助。毛景文研究员、韩发研究员和顾连兴教授的认真审阅使文稿得到改进。在此表示衷心的感谢。

References

- Chang Y F, Liu X P and Wu Y C. 1991. Fe-Cu metallogenic belt in the Lower Yangtze River[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~379(in Chinese with English abstract).
- Chu G Z and Li D X. 1992. Bedding slipping structures control on the “multistorey” ore deposits, in the Shizishan orefield of Anhui[J]. Geoscience—J. Graduate School, China University of Geosciences, 6(4): 504~513(in Chinese with English abstract).
- Cui B. 1987. The alteration zoning and origin of the Tongguanshan stratabound skarn type copper deposit[J]. Mineral Deposits, 6(1):

- 35 ~ 44(in Chinese with English abstract) .
- Gu L X, Zhang W L, Yin L, et al. 1998. A symplectite of pyrite and magnetite in sulfide ore from Mashan, Anhui Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(2) : 126 ~ 129(in Chinese with English abstract) .
- Hou S X. 1985. Pyroclastic rocks discovered within Permian Dalong formation, Triassic Yinkeng formation and Helongshan formation in Shizishan, Tongling, Anhui Province[J]. *The Eastern China Geological Science Informaiton*, (2) : 45 ~ 47 (in Chinese) .
- Huang X C and Chu G Z. 1993. Multistory metallogenic model of the Shizishan orefield in Tongling, Anhui Province[J]. *Mineral Deposits*, 12(3) : 221 ~ 230(in Chinese with English abstract) .
- Liu Y Q, Liu Z L and Yang C X. 1984. Stable isotope studies of the Dongguashan copper deposit in Tongling prefecture, Anhui Province [M]. *Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences*. No.1 : 70 ~ 101 (in Chinese) .
- Meng Y F, Yang Z S, Zeng P S, et al. 2004. A principal temporal constraints of ore-forming fluid system in Tongling metallogenic province[J]. *Mineral Deposits*, 23(3) . (in Chinese with English abstract)(in Press) .
- Qiu J S. 1992. Study on metallogeny of characteristics of the volcanic-subvolcanic rocks and the related gold (copper) deposits in the Cenozoic Shoshonite Province in the east China[M]. Nanjing: Nanjing University Press (in Chinese with English abstract) .
- Sangster D F. 1976. Sulphur and lead isotopes in strata-bound deposits [A]. In: Wolf K H, eds. *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*[C]. Amsterdam: Elsevier. 2 : 219 ~ 266 .
- Tang Y C, Wu Y C, Chu G Z, et al. 1998. Geology of copper-gold poly metallic deposits in the along Changjiang area of Anhui Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 351(in Chinese with English abstract) .
- Wang D Z, Zhou J C and Qiu J S. 1991. Present situation of the study on shoshonite series[J]. *J. Nanjing Univ. (Earth Sciences)*, 3(4) : 321 ~ 328(in Chinese with English abstract) .
- Wu C L, Zhou X R, Huang X C, et al. 1996. Chronological research of Mesozoic intermediate-acid intrusions in Tongling area[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(4) : 299 ~ 306 (in Chinese with English abstract) .
- Wu C L, Chen S N, Shi R Y, et al. 2003. Origin and features of the Mesozoic intermediate-acid intrusive in the Tongling area, Anhui, China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1) : 41 ~ 48 (in Chinese with English abstract) .
- Xie H G, Wang W B and Li W D. 1995. The genesis and metallogenetic epoch of Xinqiao Cu-S deposit, Anhui[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 16(2) : 101 ~ 107(in Chinese with English abstract) .
- Yu X Y and Bai Z H. 1981. The shoshonite series in the Luzong area[J]. *Geochemica*, (1) : 57 ~ 65 (in Chinese with English abstract) .
- Yue W Z, Ye Z Z, Wei N Y, et al. 1993. Sedimentary geology and stratabound massive sulfide deposits of Later Carboniferous Weining age in the middle-lower Yangtze reaches[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 163(in Chinese with English abstract) .
- Zeng P S, Pei R F, Hou Z Q, et al. 2002. Sedex-type massive sulfide deposits in Tongling Block, Anhui, China[J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.) : 532 ~ 535(in Chinese with English abstract) .
- Zeng P S. 2002. Superimposition-reformation of metallogenic fluids and its relationship to large-superlarge copper-gold deposits in Tongling area, Anhui Province, China[R]. Postdoctorate research report. Chinese Academy of Geological Sciences. 1 ~ 74(in Chinese with English abstract) .
- Zeng P S, Yang Z S, Meng Y F, et al. 2004. Petrogenesis and significance of cherts in Tongling mineralization cluster area, Anhui Province, China[J]. *Geological Review*, 50(2) : 153 ~ 161(in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S, Xiong Y L, Yao S Z, et al. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the Eastern Yangtze Craton, east-central China[J]. *Ore Geol. Rev.*, 11 : 229 ~ 248 .
- Zhang B R, Lou T C, Gao S, et al. 1994. Geochemical study of the lithosphere, tectonism and metallogenesis in the Qinling-Dabashan region[M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences. 83p (in Chinese with English abstract) .
- Zhu Y L. 1992. Discovery of carboniferous volcanic rocks in the Tongguanshan anticline, Anhui Province and its significance[J]. *Geology and Exploration*, (9) : 8(in Chinese) .

附中文参考文献

- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铁铜成矿带[M]. 北京: 地质出版社.
- 储国正, 李东旭. 1992. 顺层滑动构造对安徽省狮子山矿因“多层楼”矿床的控制[J]. *现代地质*, 6(4) : 504 ~ 513 .
- 崔彬. 1987. 铜官山层控砂卡岩型铜矿床的蚀变分带及其成因[J]. *矿床地质*, 6(1) : 35 ~ 44 .
- 顾连兴, 张文兰, 尹琳, 等. 1998. 安徽省马山矿区硫化物矿石中黄铁矿与磁黄铁矿的后成合晶[J]. *矿物学报*, 18(2) : 126 ~ 129 .
- 侯生秀. 1985. 铜陵狮子山上二叠统大隆组及下三叠统殷坑组、和龙山组发现火山碎屑岩[J]. *华东地质科技情报*, (2) : 45 ~ 47 .
- 黄许成, 储国正. 1993. 铜陵狮子山矿田多位一体多层楼模式[J]. *矿床地质*, 12(3) : 221 ~ 230 .
- 刘裕庆, 刘兆廉, 杨成兴. 1984. 铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究. *中国地质科学院矿床地质研究所所刊*, 第1号 : 70 ~ 101 .
- 蒙义峰, 杨竹森, 曾普胜, 等. 2004. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定[J]. *矿床地质*, 23(3)(出版中) .
- 邱检生. 1992. 中国东部新生代橄榄安粗岩省火山岩、次火山岩特征及有关金(铜)矿床成矿作用研究[M]. 南京: 南京大学出版社.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 等. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社. 351页.
- 王德滋, 周金城, 邱检生. 1991. 橄榄安粗岩系的研究现状[J]. *南京大学学报(地球科学版)*, 3(4) : 321 ~ 328 .
- 吴才来, 周珣若, 黄许成, 等. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(4) : 299 ~ 306 .
- 吴才来, 陈松永, 史仁灯, 等. 2003. 铜陵中生代中酸性侵入体特征及成因[J]. *地球学报*, 24(1) : 41 ~ 48 .

- 谢华光, 王文斌, 李文达. 1995. 安徽新桥铜硫矿床成矿时代及成矿物质来源. 火山地质与矿产, 16(2): 101~107.
- 于学元, 白正华. 1981. 庐枞地区粗安岩系[J]. 地球化学, (1): 57~65.
- 岳文哲, 业治铮, 魏乃颐, 等. 1993. 长江中下游威宁期沉积地质及硫化物矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1~163.
- 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 等. 2002. 安徽铜陵地块沉积-喷流块状硫化物矿床[J]. 矿床地质, 21(增刊): 532~535.
- 曾普胜. 2002. 安徽铜陵地区成矿流体的叠加改造与大型-超大型铜金矿床的关系[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所博士后工作报告. 1~74.
- 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 等. 2003. 安徽铜陵矿集区硅质岩成因及意义[J]. 地质论评, 50(2): 153~161.
- 张本仁, 骆庭川, 高山, 等. 1994. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 83页.
- 朱雅林. 1992. 安徽铜官山背斜石炭纪地层中火山岩的发现及其意义[J]. 地质与勘探, (9): 8.

Gold-Repelling Effect in Copper-Gold Deposits of Tongling Mineralization Cluster Area (MCA) in Process of Superimposition-Reformation

Zeng Pusheng¹, Pei Rongfu¹, Meng Yifeng¹, Hou Zengqian¹, Yang Zhusen¹, Xu Wenyi¹,
Xie Yuling², Xu Jiuhua² and Mei Yanxiong¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Beijing University of Science & Technology, Beijing 100082, China)

Abstract

Based on observation of various deposits in Tongling area, Anhui Province, it is discovered that every deposit in the orefields contains more or less copper and gold, but with different concentrations. There exist two types of copper- and gold-bearing deposits in Tongling area, i.e., Hercynian synsedimentary Sedex-type massive sulfide deposits and Yanshanian magmatic deposits. The Hercynian deposits are represented by the Zhimenkou Cu-Au-S-Fe deposit, the Shuizhuling Au-Cu deposit and the Hushan (or Niushan) Au(-S) deposit, which contain independent Au(-Cu) orebodies and thus serve as main mining objects. The typical Yanshanian magmatic deposits include the Fenghuangshan Cu orefield, the Xiaojinshan Au deposit and the Li maoshan Au deposit, which have high grade of gold and can form economic orebodies. However, being relatively small in size, neither Hercynian synsedimentary deposits nor Yanshanian magmatic deposits can mention in the same breath with such superimposition deposits as the deposits in the Shizishan orefield and the Tongguanshan orefield. It should also be noted that the deposits in Tongling area show prominent differences in the distribution of Cu, Au and Au, though these deposits occur in similar geological environments and are accompanied by Hercynian synsedimentary deposits and Yanshanian magmatic deposits. A comparison of the Dongguashan deposit with the Mashan deposit shows that, although they occur within the same horizon (Upper Carboniferous Huanglong Formation), the Dongguashan deposit has only 0.15 g/t associated gold, while the Mashan deposit contains up to 10 g/t gold accompanied by 0.1% copper. Vertically, the Chaoshan gold mine in the same orefield as the Dongguashan copper deposit contains up to 16.47 g/t gold associated with small amounts of lead and copper. The remarkable differences in the distribution of copper and gold in the deposits may be attributed to the "gold-repelling effect" controlled by the temperature field in the superimposition-reformation process of the deposits. Under the heating process, active gold migrates upward to accumulate at lower temperature whereas relative inert copper is mostly immovable, thus resulting in a spatial distribution of deposits characterized by "copper at the lower part and gold at the upper part" and "copper in the inner part and gold in the outer part".

Key words: geology, gold-repelling effect, magmatic deposit, massive sulfide deposit, superimposition-reformation, Tongling