

蚌埠—五河地区绿岩带金矿地质特征及控矿因素

涂荫玖 陈成涛

(安徽地矿局 312 地质队, 蚌埠)

提 要: 通过铅、硫、氢、氧同位素以及不同层位、岩石金丰度的大量统计, 成矿与构造、岩浆岩关系研究, 表明金的成矿作用具有多来源、多成因、多阶段的特点, 金矿有明显的层控性, 晚太古代西垭堆组绿岩是金的矿源层。区域东西向复式背斜和南北向韧性剪切带分别控制了成矿区和矿田、矿床、矿体的分布。金矿主要形成在燕山期中温、中深成条件下的脆—韧性变形环境。

主题词: 金矿 绿岩带 矿质来源 韧性剪切带 安徽

研究区地处江淮地区北部, 已发现小型金矿床数处, 矿(化)点数十处, 是安徽省内较有前景的金矿远景区之一。但因第四系覆盖较多, 给找矿工作带来很大困难。因此, 总结已知金矿地质特征和控矿因素, 对今后的普查找矿有着实际意义。

1 区域地质概况

本区位于华北陆台东南缘, 东临郯城—庐江断裂带。前寒武纪变质岩系发育, 从下而上划分为上太古界蚌埠群, 下元古界五河群, 中元古界凤阳群。蚌埠群上部的城皇庙组为 BIF 建造, 下部的西垭堆组具有较典型的绿岩带序列^①, 锆石 U-Pb 法年龄 2650×10^6 a, 属晚太古代绿岩建造。

区内构造复杂, F₃ 断裂以北为花岗岩—绿岩区, 由蚌埠群、五河群表壳岩组成的东西向线状紧闭褶皱与分布于其间的中岳期混合花岗岩穹隆共同组成区域基本构造格架; 其中韧性剪切带十分发育, 主要有东西向、南北向两大类。岩浆活动频繁, 侵入岩以中岳期交代型混合花岗岩为主, 部分地区见晚太古代 TTG 质片麻岩; 燕山期有中酸性岩侵入及喷发, 喜山期有碱性玄武岩沿深大断裂分布(图 1)。

2 金矿地质特征及成矿作用

2.1 主要金矿地质特征

区内金矿化普遍, 原生金矿以石英脉型为主, 少数为破碎带蚀变岩型, 容矿围岩绝大多数为西垭堆组绿岩。含金石英脉皆产于区域次级韧性剪切带中, 容矿韧性剪切带长几百到上千米, 宽几到几十米。具工业意义的石英脉主要赋存在南北向韧性剪切带中, 大多呈复脉,

涂荫玖, 男, 50 岁, 高级工程师, 1965 年毕业于中南矿冶学院。邮政编码: 233040

1991 年 6 月收稿, 1992 年 5 月二次修改回

① 涂荫玖等, 江淮北部前寒武纪变质岩系划分及构造特征, 中国区域地质。待刊

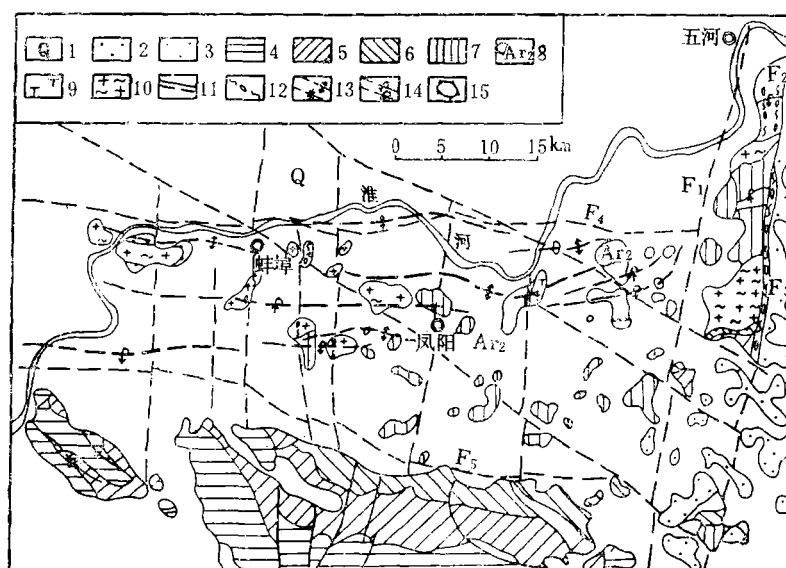


图1 蚌埠—五河地区地质略图

1—第四系; 2—第三系; 3—中生界; 4—古生界; 5—上元古界; 6—中元古界; 7—下元古界; 8—上太古界;
9—石英正长斑岩; 10—混合花岗岩; 11—实测、推测断裂; 12—韧性剪切带; 13—实测、推测背、向斜轴迹;
14—实测、推测倒转背、向斜轴迹; 15—混合花岗岩穹隆

Fig.1. Geological sketch map of Bengbu-Wuhe area.

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Mesozoic; 4—Paleozoic; 5—Upper Proterozoic; 6—Middle Proterozoic;
7—Lower Proterozoic; 8—Upper Archean; 9—Quartz syenite porphyry; 10—Migmatitic granite;
11—Measured and inferred trace of anticline and syncline; 14—Measured and inferred axial trace of
measured and inferred anticline and syncline; 15—Migmatitic granite dome.

少数呈单独大脉产出。延长、延深几十米到四、五百米; 单脉厚度 0.72~5.10m, 厚度变化系数 (V_m) 37~75; 含金 1.09~76.36 g/t, 品位变化系数 (V_c) 80~150。破碎带蚀变岩型金矿矿化相对较均匀, 品位变化系数在 60 左右。

含金石英脉中金属矿物以黄铁矿、方铅矿为主, 其次为黄铜矿、辉钼矿、金红石、闪锌矿、白钨矿、针硫铋铅矿、磁铁矿等, 脉石矿物以石英为主, 还有方解石、铁白云石、重晶石等。金的赋存状态以自然金为主, 成色 817.2~932.7; 少量呈银金矿产出, 成色 703~796。

近矿围岩蚀变有绢云母化、硅化、黄铁矿化, 当交代作用强烈时, 形成黄铁绢英岩; 此外, 有钾化、碳酸盐化。

2.2 成因矿物学特征

2.2.1 矿物形态标型特征 据初步研究, 自然金产出形式主要有两种: 一种为包体金, 自然金呈粒径 0.01~0.005 mm 的微细包体产于黄铁矿、黄铜矿、石英中; 另一种以裂隙金形式产出, 粒径可达 0.1~0.2 mm。前者形成较后者早, 它们代表了自然金的两个世代。另外, 有少数呈晶隙金产出。

主要金属矿物黄铁矿可以分出四个世代, 第一世代多呈半自形—自形立方体, 粒径 0.5~2 mm, 数量较少。第二世代以半自形—它形粒状为主, 晶形以五角十二面体为主, 晶面纵纹发育, 碎裂现象普遍; 集合体呈块状、脉状或以胶结物形式分布于第一世代石英之中。第三世

代以五角十二面体为主,为细粒自形晶,少数半自形,呈细脉、浸染状分布于早期黄铁矿的裂隙及边缘。第四世代为细粒自形晶,呈细脉状与碳酸盐共生。

脉石矿物石英也可以分出四个世代,第一世代呈中、粗粒,乳白色,混浊状,组成石英脉主体;发育有波状消光、变形纹、变形带,碎裂现象普遍。第二世代为细粒状,具波状消光,呈细脉、网脉状充填于前者之中。第三世代呈细粒一柱状,构造变形不明显,产于早期石英及硫化物中。第四世代为细一微粒,无色、透明,呈细脉状与重晶石、碳酸盐共生。

2.2.2 黄铁矿化学成分特征 据9个黄铁矿单矿物化学分析(地质科学院岩矿测试所,1988),黄铁矿中含Fe 44.78%~45.94%,平均45.38%;含S 50.91%~52.49%,平均51.93%。与黄铁矿理论标准值(Fe 46.55%, S 53.45%)比较,表现出Fe、S均亏损,与焦家、小秦岭等处相似^[1],说明其形成可能与岩浆期后热液有关^①。

黄铁矿中含金 $3 \times 10^{-6} \sim 130 \times 10^{-6}$, 平均 24.2×10^{-6} ; 含银 $8 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$, 平均 48.4×10^{-6} 。Au/Ag 0.15~1.20, 平均 0.57, 与巴列伊矿田及耶洛奈夫矿区(R. W. Boyle, 1979)^[2]以及栾世伟^[1]所指出的一般中—低温热液型金矿相似。Co/Ni 0.23~10.14, 平均 1.87, 与焦家式(Co/Ni 0.44~3.55, 平均 1.92, 张温璞, 1988)、小秦岭杨砦峪(Co/Ni 2.40, 方耀奎, 1985)、Hawley 和 Nichol(1961)^[3], 以及 A. Bralía(1979)^[1]所指出的热液

矿床(Co/Ni 1.47)相近。Se/Te 1.04~27.50, 平均为10.59。

2.2.3 包裹体特征 据32件脉石英包裹体样品研究结果(地质科学院矿床所测定),均一法温度: 荣渡矿床(20件)为132.8~438.1℃, 平均284.4℃; 大巩山矿区(5件)为184.3~381.4℃, 平均285.1℃; 毛山矿床(7件)为135~273℃, 平均195℃。其中荣渡样品数量最多, 测温数据连续分布, 大致反映出有四个峰区: (1)410~380℃, (2)340~320℃, (3)280~240℃, (4)180~150℃(图2)。

大巩山、毛山石英包裹体盐度为3.5wt%~8.27wt%NaCl, 平均6.14wt%NaCl, 未发现NaCl子晶包体。荣渡石英气液包体盐度6.6wt%~21.1wt%NaCl, 平均12.8wt%

NaCl; 同时还见少量含NaCl子晶的三相包裹体, 盐度可达40.1wt%~42wt%NaCl, 它们多出现在矿脉尖灭处, 如ZK 301、ZK 801中。

包体测压结果如下: 毛山平均为 5.45×10^7 Pa, 大巩山平均为 6.42×10^7 Pa。荣渡矿区出现四种情况: (1)绝大多数低—中等盐度气液包裹体压力为 $5.5 \times 10^7 \sim 8.0 \times 10^7$ Pa, 平均 6.53×10^7 Pa; (2)少数含NaCl子晶、含CO₂气液包体压力为 $5.1 \times 10^7 \sim 9.0 \times 10^7$ Pa; (3)少数气液包体压力达 $1.2 \times 10^8 \sim 2.9 \times 10^8$ Pa; (4)少数气液比>50%, 含CO₂的包体

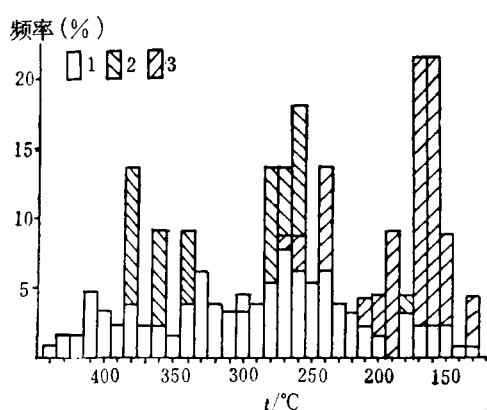


图2 包裹体均一法温度直方图
1—荣渡; 2—大巩山; 3—毛山

Fig. 2. Histogram showing homogenization temperatures of inclusions.

1—Rongdu; 2—Dagongshan; 3—Maoshan.

① 邵洁涟, 1984, 金属矿物标型性研究

压力 $<5.0 \times 10^7$ Pa, 它们可能代表了不同成矿阶段时的成矿流体压力^[4]。

黄铁矿(9件)爆裂温度185~250℃, 大巩山平均为232℃。毛山平均为206℃。

2.2.4 石英热发光特征 根据前寒武纪不同层位、不同成因以及不同含金性的26个石英热发光样品研究(中国科学院地质研究所测定), 发现有如下特点: (1)不同成因的石英热发光强度有明显差别。中元古代凤阳群中变质分异脉石英热发光强度为 7.658×10^{-10} NC, 青白口系伍山组底砾岩中石英砾石为 $8.291 \times 10^{-10} \sim 9.713 \times 10^{-10}$ NC(图3-a中1、2); 而含金脉石英热发光强度明显较低(图3-a中3、4), 一般在 $1.21 \times 10^{-10} \sim 3.38 \times 10^{-10}$ NC, 最高 4.849×10^{-10} NC。前两者高于后者1~7倍。(2)含金脉石英大多具有两个热发光峰, 一个340~350℃的高温峰, 另一个为290~300℃的中温峰(图3-b)。而不含金的脉石英皆表现为单峰曲线, 只有350~360℃的高温峰, 或290~310℃, 或260~270℃的中温峰(图3-a中1、2)。

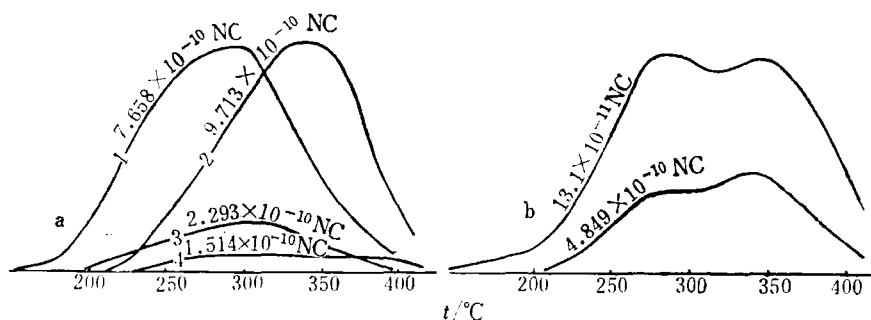


图3 石英热发光曲线

a—不同成因石英热发光强度有明显差异: 1—变质分异脉石英(石门山); 2—伍山组脉石英砾石(小殷家); 3—含金低的脉石英(大巩山); 4—含金高的脉石英(吴段庄); b—含金脉石英热发光曲线呈双峰状

Fig. 3. Thermoluminescence curves of quartz.

a—Obvious differences in thermoluminescence intensity among quartz of different origins: 1—Quartz from metamorphic differential veins; 2—Vein quartz gravel from Wushan Formation(Xiaosuanjia); 3—Vein quartz with low gold content(Dagongshan); 4—Vein quartz with high gold content(Wuduanzhuang); b—Thermoluminescence curves of auriferous vein quartz, showing double peak form.

2.3 稳定同位素特征

2.3.1 铅同位素 铅同位素组成反映地球层圈构造的演化, 可以代表物质组分的不同来源。区内13个样品分析结果及对比见表1。

据表1结果并采用K C Cannon三角图解及B R Doe的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 或 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 坐标图投影后, 可以得出如下结论: (1)本区矿石铅均属正常铅; (2)矿石铅与容矿围岩西垵堆组全岩铅同位素组成基本相同, 具有同源性, 它们与地幔相近, 说明区内金的成矿作用及成矿物质铅的来源是相同的, 矿石中铅来自西垵堆组绿岩, 而后者中的铅又来自地幔。

2.3.2 硫同位素特征 本区19件硫同位素分析结果见表2。

硫同位素特点如下: (1)富含重硫, 正向偏离陨硫, 极差均 $<10\%$, 和王义文(1990)指出的与太古宙花岗岩-绿岩有关的复成热液金矿硫同位素组成^[6]相似。荣渡部分样品出现负值, 可能与氧逸度(f_{O_2})较高有关(采样处围岩中有较多赤铁矿)。(2)共生硫化物中黄铁

表 1 蚌埠—五河地区铅同位素组成对比表

Table 1. Lead isotopic composition of Bengbu-Wuhe area

矿 区	测 定 对 象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$
荣 渡	方铅矿 ^①	16.844	15.456	37.498	9.23
	方铅矿 ^①	16.843	15.433	37.443	
	方铅矿 ^①	17.078	15.493	37.648	
	黄铁矿 ^①	16.868	15.374	37.306	
	方铅矿	16.830	15.364	37.273	
	平均值	16.893	15.424	37.434	
	西坝 { 斜长角闪岩 ^①	16.946	15.345	37.696	
	堆组 { 紫苏辉石麻粒岩 ^①	17.134	15.431	37.692	
	堆组 { 黑云斜长片麻岩 ^①	17.273	15.384	37.692	
	平均值	17.118	15.387	37.691	
大 巩 山	方铅矿 ^②	17.050	15.353	37.470	9.16
	黄铁矿 ^②	17.139	15.406	37.622	9.25
毛 山	方铅矿 ^②	16.740	15.488	37.571	9.52
	黄铁矿 ^②	16.750	15.347	37.230	9.21
	黄铁矿 ^②	16.910	15.434	37.476	9.36
	地 幔 ^③	18.060	15.490	37.700	8.37
	下地壳 ^③	17.510	15.390	38.670	6.21
	上地壳 ^③	19.450	15.710	39.200	13.22

① 由桂林矿产地质研究院分析；② 据安徽地研所桑宝梁等（1990）；③ 据 R E Zarfman；其余样品皆由宜昌地矿所分析

表 2 蚌埠—五河地区硫同位素分析结果

Table 2. Sulfur isotopic analyses of Bengbu-Wuhe area

毛 山		大 巩 山		荣 渡	
测定矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$
黄铁矿	5.7	黄铁矿	6.1	黄铁矿 ^②	7.1
黄铁矿	6.0	黄铁矿	7.4	方铅矿 ^②	6.4
黄铁矿	4.9	黄铁矿	7.7	方铅矿 ^②	-1.0
黄铁矿	5.0	黄铁矿 ^①	7.6	方铅矿 ^②	-2.3
黄铁矿	5.0	黄铁矿 ^①	7.7		平均2.6
黄铁矿	3.0	黄铁矿 ^①	7.8		极差9.4
黄铁矿 ^①	5.8		平均 7.4		
黄铁矿 ^①	9.0		极差 1.7		
方铅矿 ^①	1.3				
	平均 5.1				
	极差 7.8				

① 据桑宝梁等（1990），由宜昌地矿所分析；② 桂林矿产地质研究院分析；其余均由地质科学院矿床所分析

矿 $\delta^{34}\text{S}$ 大于方铅矿 $\delta^{34}\text{S}$ ，表明不同矿物间已达硫同位素平衡。（3）总体看来，由庐带内部到外部， $\delta^{34}\text{S}$ 随着成矿温度的降低而降低。

2.3.3 氢、氧同位素特性 荣渡矿区测试结果如下：脉石英（2件） $\delta^{18}\text{O}$ 从9.3‰~13.9‰，

平均 11.6‰; 包体 $\delta D_{H_2O} - 70\%$ (2 件); 西垱堆组斜长角闪岩、紫苏辉石麻粒岩 (2 件) $\delta^{18}O$ 9.4‰~13.8‰, 平均 11.6‰, δD 为 -94‰。另据桑宝梁等 (1990) 采自区内不同矿脉的石英 (7 件) $\delta^{18}O$ 从 11.3‰~13.3‰, 平均 12.3‰。表明石英脉与西垱堆组绿岩 $\delta^{18}O$ 、 δD 有同源性, 石英脉体部分物质来自围岩。采用张理刚 (1989) 石英-水分馏方程: $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.306 \times 10^6 T^{-2} - 2.71$, 均一化温度分别选用采样处包体测温结果 251℃ 及 345℃, 计算出 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 +7.8‰~+0.3‰, 投影在 Sheppard 的 $\delta D - \delta^{18}O$ 图解上, 前者落入岩浆水范围, 后者落在岩浆水范围以外, 向雨水线方向漂移, 表明成矿流体可能主要来自岩浆水, 但混合有部分大气降水。

2.4 金的成矿作用

金的成矿作用可以划分为 4 个阶段, 即黄铁矿-石英阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段、石英-碳酸盐阶段。金矿主要形成在第 2、3 阶段, 与第 2、3 世代的黄铁矿、石英, 以及黄铜矿、方铅矿密切共生。

含金石英脉主要形成温度 438~132℃, 压力 $5.45 \times 10^7 \sim 6.53 \times 10^7$ Pa, 成矿深度大致为 2.00~2.39 km。据地质力学研究所董法先等 (1991) 在大巩山、荣渡所采含金石英脉脉壁绢云母样品, Rb-Sr 等时线年龄分别为 $(153.76 \pm 11.2) \times 10^6$ a 及 $(109.03 \pm 4.4) \times 10^6$ a, 说明成矿时代为燕山期。

3 控矿因素

3.1 绿岩带控矿作用

我们在区内晚太古界、早元古界实测剖面上、主要矿点的露头或钻孔中, 较系统地采集了不同层位、不同岩性和岩脉的化学光谱样品, 并剔除了有蚀变、矿化的特高样品, 分析结果如表 3。

同时, 我们对发育于不同层位中的糜棱岩和变质分异成因的无矿石英脉进行了采样、对比, 蚌埠群西垱堆组中糜棱岩 (24 件) 平均含金 6.11×10^{-9} , 变质分异石英脉 (11 件) 平均含金 5.79×10^{-9} ; 而五河群庄子里组糜棱岩 (13 件) 平均含金 1.2×10^{-9} , 变质分异石英脉 (4 件) 平均含金 1.63×10^{-9} 。

从上述结果看出, 西垱堆组绿岩金的丰度为其它早前寒武纪变质岩的 2.8~4.5 倍; 而且其变化系数远大于其它地层, 间接表明其中金的活度较高。而原岩中金的丰度、活度对后期变形、变质作用所形成的岩石中金的含量也有较明显的控制作用。全区已知金矿的 78.1% 分布于西垱堆组中, 分布于其它层位的仅占 9.4% (另有 12.5% 产于混合花岗岩中), 说明金矿与西垱堆组绿岩有着密切的成因联系。铅及氢、氧同位素资料也作了有力地证明。

3.2 构造控矿作用

3.2.1 不同型式、不同级别的构造分级控矿: 东西向的蚌埠复式背斜组成了本区的基本构造格架, 而蚌埠群西垱堆组绿岩主要分布在蚌埠复式背斜中的两个次级复背斜核部及附近, 因此, 蚌埠—五河金矿远景区、成矿带呈东西向分布; 而矿田、矿床、矿体则主要受绿岩带中的不同级别的南北向韧性剪切带控制 (详见后文)。

3.2.2 韧性剪切带控矿作用: 南北向韧性剪切带是区内主要的控矿构造, 郯庐断裂带西部的

表 3 早前寒武纪变质岩系及脉岩金丰度统计表

Table 3. Statistics of gold abundance in Precambrian metamorphic rocks and dike rocks

地层及时代	岩石名称	样品数	岩石金丰度 (10^{-9})	均方差	变化系数 (%)	地层金丰度 平均值 (10^{-9})
西 垭 堆 组 (Ar _{2x})	斜长角闪岩	33	4.19	4.97	118.60	3.94
	角闪斜长片麻岩	189	3.89	4.74	121.86	
	黑云斜长片麻岩	11	3.50	7.28	207.87	
	斜长片麻岩	41	4.17	4.17	99.15	
城皇庙组 (Ar _{2c})	黑云斜长片麻岩	6	0.8	0.17	20.91	0.87
	角闪变粒岩	12	0.94	0.67	71.37	
庄子里组 (Pt _{1z})	角闪斜长片麻岩	2	1.45	0.39	34.64	1.26
	黑云斜长片麻岩	6	1.12		38.02	
	斜长浅粒岩	3	1.60	0.61		
	角闪岩	2	0.85			
大金山组 (Pt _{1d})	大理岩	33	1.52	0.99	65.55	1.39
	黑云片岩	19	1.25	0.50	39.95	
燕 山 期	安山岩	29	2.06	2.63	127.77	3.04
	闪长岩	30	5.72	10.78	188.45	
	闪长玢岩	7	1.9	1.47	77.53	
	花岗斑岩	3	1.87	1.06	56.78	
	辉绿岩	3	2.67	2.63	98.96	

样品由地矿部第一物探大队分析

五河—红心铺断裂 (F₁) 与朱顶—石门山断裂 (F₂) 组成宽 5~8 km 的近南北向韧性剪切带, 已知金矿床、矿 (化) 点的 47% 就分布于郯庐断裂带内及附近。金矿床赋存在距郯庐带主干断裂 1~2 km 处的 2 级南北向韧性剪切带中。具工业价值的含金石英脉均产于 2 级以下的南北向韧性剪切带, 主要赋存在其中相当于 Riedel 脆性及脆-韧性剪切系统的 D、R 裂隙中^[6]。产于其它方向韧性剪切带中的石英脉规模较小或不具工业意义。自郯庐带向西, 金矿 (化) 点大体以 6~9 km 间距沿次级南北向韧性剪切带分布, 自东向西, 间距有渐增的趋势。

从总体上看, 本区东部以金矿化为主, 与郯庐断裂带关系密切; 西部则以金、银、多金属矿化为主, 主要分布于混合花岗岩穹隆内、外接触带的剪切带中, 区域上显示一定的分带性。自郯庐断裂带以内向西, 随着成矿温度、压力的降低, 金的成矿作用显示相应的变化 (表 4)。

3.2.3 构造叠加与成矿的关系: (1) 不同构造型式复合对成矿的控制。在东西向复背斜与南北向韧性剪切带复合部位, 特别是前者由东西走向被改造为北东东-北东向的地段, 是成矿有利地段, 毛山、荣渡矿床都处于此种有利构造部位; (2) 不同时期内不同机制的变形作用叠加对成矿的控制。南北向韧性剪切带形成于中元古代末期, 形成深度 12.8~14.2 km^[6], 而金矿主要形成在燕山期, 形成深度 2.00~2.39 km, 含金石英脉及矿石中脆-韧性变形特征明显: 部分石英脉有压偏拉长, 第 1 世代石英中发育有波状消光、变形纹、变形带, 矿石中碎裂现象十分普遍, 以及矿脉在韧性剪切带中的产状等特点, 都说明了金矿形成于叠加在早期韧性剪切带上的后期脆-韧性变形阶段; (3) 成矿时构造活动对成矿作用的控制。已知金矿床成矿时断裂活动均很明显, 矿石碎裂结构发育, 有不同阶段的矿化细脉穿插或呈胶结

表 4 郑庐断裂带与金矿成矿作用关系

Table 4. Relationship of Tancheng-Lujiang fault belt to gold mineralization

构造位置 成矿作用特征		郑庐断裂带西侧	郑庐断裂带内
主要组成矿物		金属矿物：以黄铁矿为主，自然金、银金矿、少量黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿、赤铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、金红石、褐铁矿，偶见毒砂；脉石矿物：以石英为主，重晶石、绢云母	金属矿物：以黄铁矿、方铅矿为主，自然金、银金矿、少量黄铜矿、磁铁矿、白钨矿、闪锌矿、白铁矿、针硫铋铅矿、毒砂、斑铜矿、褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、铜蓝、赤铜矿；脉石矿物：石英为主，长石、辉石、重晶石、云母类、碳酸盐
自然金粒径		细粒金为主	细—粗粒
自然金成色		861.8~873.4（4件），平均867	1：863.6~916.7（2件），平均890.2 2：817.2~932.7（8件），平均868.7
银金矿成色		703（1件）	1：795.8（1件） 2：713.3~787.1（6件），平均742.9
黄铁矿中微量元素	Au/Ag	0.24~1.20（6件），平均 0.67	1：0.15~0.65（3件），平均 0.37
	Co/Ni	0.71~1.10（6件），平均 0.90	1：0.23~10.14（3件），平均 3.79
	Sc/Tc	1.03~18.75（6件），平均 6.15	1：2.15~27.50（3件），均平 16.38
石英均—法温度		135~273℃，平均 195℃	1：184.3~381.4℃，平均 285.1℃ 2：132.8~438.1℃，平均 284.4℃
黄铁矿爆裂温度		185~235℃，平均 206℃	1：210~250℃，平均 232℃
黄铁矿 δ ³⁴ S（‰）		3.0~9.05，平均 5.56	1：6.1~7.8，平均 7.4；2：7.1
方铅矿 δ ³⁴ S（‰）		1.27	2：-1.0~6.4，平均 1.03
成矿压力（Pa）		平均 5.45×10 ⁷	1：平均 6.42×10 ⁷ ；2：平均 6.53×10 ⁷
成矿深度（km）		1.82~2.18，平均 2.00	1：2.14~2.57，平均 2.36；2：2.17~2.60，平均 2.39
实 例		毛 山	大巩山，荣渡

注：1—大巩山；2—荣渡

状；脉壁上发育多组擦痕，脉壁构造角砾岩中有糜棱岩、石英脉、黄铁矿角砾及硫化物、石英、碳酸盐细脉。在成矿时构造活动强烈地段，形成富矿柱，如毛山金矿—5 m中段6号至8号穿脉之间。

3.2.4 构造应变强度与金矿关系：我们将全区划分为8个构造均匀域进行了应变测量^[7]，采用不同地段应变强度参数 $\bar{\epsilon}_s$ ^①与该地段内金矿床、矿（化）点出现的频率（它们是成矿作用强度的直接标志）分别为纵、横坐标作图，发现金矿床、矿（化）点绝大多数分布在 $\bar{\epsilon}_s=0.6\sim 0.9$ 的地段，已知金矿床（3个）全部分布在 $\bar{\epsilon}_s=0.6\sim 0.7$ 的地段， $\bar{\epsilon}_s>1$ 或 <0.5 的

① $\bar{\epsilon}_s = \frac{1}{\sqrt{3}} [(\bar{\epsilon}_1 - \bar{\epsilon}_2)^2 + (\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_3)^2 + (\bar{\epsilon}_3 - \bar{\epsilon}_1)^2]^{1/2}$ ， $\bar{\epsilon}_1$ 、 $\bar{\epsilon}_2$ 、 $\bar{\epsilon}_3$ 为应变椭球体三个主轴的自然应变

地段金矿化微弱(图4)。这一特点与韧性剪切带内围岩金的丰度在剪切应变(ϵ)中等地段最高的研究结果^[6]是不谋而合的,说明金在变形强烈地段活化、迁移,在应变中等处沉淀富集。并且可能反映了在上述条件下有利于含金韧-脆性剪切带的形成和成矿流体的沉淀。

3.3 岩浆活动控矿作用

区内岩浆活动对成矿的控制作用具体表现在以下几方面。

3.3.1 不同成因类型的混合花岗岩与金矿关系有明显区别:区内中岳期混合花岗岩发育,按其特征可以分为涂山型、磨盘山型两大类,它们与成矿作用的关系明显不同。涂山型岩体内燕山期脉岩发育,部分可能有重熔作用,在岩体港湾状拐弯处及倾伏端0~4 km处,常发育有金矿化。磨盘山型岩体则与铁矿化关系密切。

3.3.2 燕山期脉岩与金矿关系密切:已知矿区内成矿前、成矿期、成矿后的闪长玢岩、煌斑岩、石英正长斑岩岩脉十分发育;在岩脉不发育的地区,矿化相对较差。

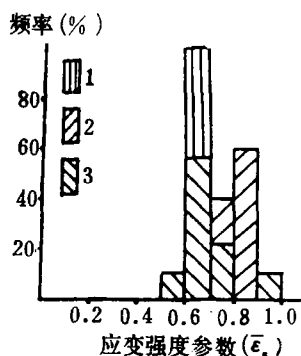


图4 金的成矿作用与应变强度的关系
1—矿床; 2—矿点; 3—矿化点

Fig. 4. Relationship between gold mineralization and strain intensity.

1—Ore deposit; 2—Ore spot; 3—Mineralization spot.

4 结 语

(1) 区内金矿绝大多数产于晚太古代西垭堆组中,西垭堆组绿岩是金的矿源层,提供了成矿物质金、铅和部分脉体物质。

(2) 南北向韧性剪切带控制了矿田、矿床、矿体的分布,金矿形成于叠加在早期韧性剪切带上的脆-韧性变形阶段。

(3) 铅、硫、氢、氧同位素及燕山期岩脉人工重砂资料,说明成矿物质铅、金、硫及成矿流体具有不同的来源;成矿与构造作用及岩浆活动的密切关系,区内绿岩带、青白口系底砾岩到燕山期岩脉中金矿化的普遍存在,表明本区成矿作用具有绿岩带型金矿(刘连登,1989)多来源、多成因、多阶段的特点。但是,金矿主要形成于燕山期,成矿温度438~132℃,成矿深度2.00~2.39 km。

样品测试工作得到地质科学院矿床所丁梯平、蔡爱莉、李荫清等同志大力帮助,在此谨表谢意。

参 考 文 献

- 1 栾世伟等. 金矿床地质及找矿方法. 成都: 四川科技出版社, 1987. 74~84, 399~435
- 2 博依尔 R W. 金的地球化学及金矿床. 马万钧等译. 北京: 地质出版社, 1984. 182~307
- 3 陈光远等. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 1987. 196~222
- 4 卢焕章等. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990. 74~115
- 5 王义文. 中国金矿床稳定同位素地球化学研究. 桂林地质学院院报, 1990, 10(3): 269~281
- 6 涂荫玖等. 安徽江淮地区北部韧性剪切带及其与金矿关系. 大地构造与成矿学, 1991, 15(3): 1~7
- 7 郑亚东等. 岩石的有限应变测量及韧性剪切带. 北京: 地质出版社, 1985. 103~165

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ORE-CONTROL FACTORS OF GOLD DEPOSITS IN THE GREENSTONE BELT OF BENGBU-WUHE AREA

Tu Yinjiu and Chen Chengtao

(No. 312 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources, Bengbu, Anhui Province)

Abstract

Large quantities of analyses and statistics of gold abundance in different strata and rocks combined with lead isotope data suggest that greenstone of Late Archean Xigudui Formation is the source bed of gold deposits.

The regional EW-trending anticlinorium and the SN-trending ductile shear zones control the distribution of metallogenic provinces and that of ore fields, ore deposits and orebodies respectively. 47% of known gold deposits and ore (mineralization) spots are distributed within or near Tancheng-Lujiang faulted zone, and auriferous quartz veins with economic significance all occur in subsidiary SN-trending ductile shear zones, 1~2 km from the major fault. From Tancheng-Lujiang faulted zone outwards, in conformity with the falling ore-forming temperature and pressure, grain sizes of native gold become smaller, fineness, $\delta^{34}\text{S}$ values and Co/Ni as well as Se/Te ratios of pyrite decrease, and Au/Ag ratio tends to increase. Strain analysis shows that gold deposits and spots are mostly located in areas where $\bar{\epsilon}_s = 0.6 \sim 0.9$, while mineralization is rather weak in areas with $\bar{\epsilon}_s$ larger than 1 or smaller than 0.5. This coincides with the conclusion drawn from the research that gold of wall rocks within the ductile shear zone is most abundant in the moderate shear strain (γ) area, suggesting the mobilization and migration of gold in the strong deformation part and precipitation and enrichment of gold in the moderate strain part.

Gold metallization shows polystage, polysource and polygenetic characteristics; nevertheless, the major ore-forming process took place in Yanshanian period in a brittle-ductile deformation environment of intermediate structural layer, with ore-forming temperature $438 \sim 132^\circ\text{C}$, pressure $5.45 \times 10^7 \sim 6.53 \times 10^7$ Pa and depth 1.98~2.37 km.