

# 张八岭地区金矿地质及矿床地球化学特征

邱瑞龙\*

(安徽地质科学研究所, 合肥)

**提 要:** 通过对张八岭地区硫化物石英脉型和破碎带蚀变岩型金矿地质, 及矿床地球化学进行系统概括, 并结合地质背景分析探讨了矿床成因, 提出花岗岩浆期后热液成矿和二次重熔闪长质熔浆分异流体成矿。

**关键词:** 金矿床 地质特征 地球化学特征 张八岭

## 1 区域地质背景

张八岭地区地处皖东, 西邻郟-庐断裂带, 隶属于大别-苏鲁造山带张八岭-宿松冲断体<sup>①</sup>。张八岭构造带新元古代发育古裂陷槽, 形成了一套以细碧-石英角斑岩建造为特征的张八岭群海相火山岩及陆源海相沉积。最新资料表明, 张八岭群之下尚见有 25.09 亿年的以角闪斜长片麻岩和混合岩为代表的古老变质基底 (涂荫玖, 1997, 私人通信)。

中生代深熔钙碱性花岗岩体平行郟-庐断裂带呈北北东向带状分布, 管店-藕塘花岗岩体南北长约 60 余公里, 出露面积近 200 km<sup>2</sup>。闪长质脉岩呈北北东向及北西向产于花岗岩体内和外接触带张八岭群围岩中。

区内已知金矿床 (点) 大多分布于管店-藕塘花岗岩体的东、北接触带附近, 明显受控于近南北向断裂带, 充填于北北东向及北西向次级韧-脆性断裂中。

## 2 金矿地质特征

张八岭构造带内金矿以其产出的地质构造环境和矿石矿物组合、围岩蚀变及矿床地球化学特征为依据, 划分为硫化物石英脉型及破碎带蚀变岩型两种矿床类型。

### 2.1 硫化物石英脉型金矿

硫化物石英脉型金矿以脉状产出, 矿石建造简单, 围岩蚀变不十分发育。该类型金矿主要产于花岗岩体内或外接触带张八岭群中。矿体与闪长质脉岩 (闪长玢岩、微晶闪长岩、石英闪长玢岩等) 密切共生, 它们或者与闪长质脉岩平行延伸, 或者呈微角度斜切脉岩。容矿断裂主要有北北东向或北西向剪切破裂面和发育一定宽度的韧-脆性剪切带。前者, 一般为平直的单一破裂面, 剪切带不发育, 矿体无工业意义; 后者为典型的韧-脆性变形, 发育一定宽度的韧-脆性剪切带, 矿体常成带出现, 具有一定规模。

矿石矿物组合以金-硫化物-石英为主。依硫化物含量的多少和硫化物类型的差异以及它

\* 邱瑞龙, 男, 1944 年生, 高级工程师, 从事岩石学和矿床学研究。邮政编码: 230001

① 常印佛、唐永成等, 1995, 安徽沿江地区铜多金属成矿预测研究报告

们在宏观上的相互关系,可以划分为金-少硫化物-石英建造→金(银)-毒砂-黄铁矿建造→(金)银-黄铜矿-方铅矿建造→金银-辉铜矿-硬锰矿建造。不同矿石建造显示了金矿化的继承性和多期性,随着成矿物理化学条件的变化演绎为连续的或断续的矿化系列。

金的独立矿物主要有自然金、银金矿等。自然金呈超显微包体存在于硫化物中,其粒径一般小于 $0.15\mu\text{m}$ ,金的成色为959,Au/Ag比为23.83。银金矿可见片状,粒度可达 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ ,大多分布于硫化物粒间,银金矿金的成色一般低于800,普遍含有微量的Fe、Co、Ni、Cu、Zn等。硫化物及脉石英电子探针分析结果(表1)表明,硫化物及脉石英的金含量明显偏低且极不稳定,大多在检测线以下,因此,可以确认硫化物、脉石英等矿物中不存在类质同象金。银的分析结果表明铜蓝、黄铜矿,尤其是含银斜方辉铜矿等矿物中银含量较高,它们或以类质同象或呈晶格混入物的形式存在。

表1 硫化物石英脉型金矿硫化物及脉石英金含量分析(%)

| 矿 物   | 样品数 | Au        |      | Ag          |       | Co   | Ni   | Te   |
|-------|-----|-----------|------|-------------|-------|------|------|------|
|       |     | 变化范围      | 平均值  | 变化范围        | 平均值   |      |      |      |
| 黄铁矿   | 5   | 0.00~0.65 | 0.23 | 0.00~0.38   | 0.12  | 0.00 | 0.12 | 0.13 |
| 毒砂    | 5   | 0.00~0.13 | 0.03 | 0.00~0.33   | 0.11  | 0.16 | 0.10 | 0.07 |
| 黄铜矿   | 5   | 0.00~0.21 | 0.07 | 0.03~0.37   | 0.15  | 0.00 | 0.09 | 0.19 |
| 铜蓝    | 5   | 0.00~0.59 | 0.17 | 0.19~1.25   | 0.64  | 0.03 | 0.05 | 0.01 |
| 方铅矿   | 2   | 0.00~0.00 | 0.00 | 0.00~0.17   | 0.08  | 0.00 | 0.23 | 0.31 |
| 斜方辉铜矿 | 2   | 0.00~0.05 | 0.02 | 18.23~19.86 | 19.05 | 0.12 | 0.00 | 0.04 |
| 辉铜矿   | 4   | 0.00~0.11 | 0.05 | 0.38~1.49   | 0.79  | 0.04 | 0.04 | 0.32 |
| 脉石英   | 2   | 0.00~0.02 | 0.01 | 0.04~0.06   | 0.05  | 0.06 | 0.08 | n.a. |

## 2.2 破碎带蚀变岩型金矿

破碎带蚀变岩型金矿产出于构造破碎带中,矿体由构造碎裂岩石经含金热液交代蚀变达到金的工业品位的蚀变岩石构成。该类型矿体中石英脉体一般不发育,局部见有硅化脉或团块状石英。因此,交代蚀变成矿是本类型的重要特征。

矿体在空间分布上与北北东和北西向构造破碎带密切相关,破碎带主要表现为密集断层和构造透镜体,多数地段构造角砾岩发育,主断面近直立,沿垂向和走向波状起伏,具一定规模。矿体与闪长质脉岩关系密切,大多平行于脉岩展布。由于构造发展的继承性和脉动性以及脉岩的界面效应,主断面大多沿着脉岩的一侧发育或呈微角度斜切,这些地段往往成为矿化富集地段。破碎带蚀变岩型金矿的形成与构造碎裂岩的蚀变作用类型和蚀变强度极为密切。该类型金矿主要蚀变类型有黄铁矿化、黄铁绢英岩化、绢英岩化、红化和硅化,蚀变分带明显,由矿体向外依次为黄铁绢英岩化带、绢英岩化带、红化硅化碎裂岩带。强烈蚀变的黄铁绢英岩金矿化明显,绢英岩化蚀变岩次之,红化硅化碎裂岩金矿化不明显。

该类型金矿矿石矿物组合简单,主要为金-黄铁矿组合,多金属硫化物不发育。黄铁矿按粒度划分为细粒( $0.5\sim 1.0\text{mm}$ )和微细粒( $<0.2\text{mm}$ ),微细粒黄铁矿呈细疏浸染于强烈蚀变岩中,细粒黄铁矿出现于微细脉状石英中。黄铁矿地表氧化为褐铁矿及少量硫酸(水绿矾)。金独立矿物为自然金,它们呈显微粒状包体存在于细粒黄铁矿中。黄铁矿电子探针分析(表2)表明,细粒黄铁矿含金,微细粒黄铁矿不含金,前者S/Se比为 $0.466\times 10^3$ ,

后者 S/Se 比为  $0.314 \times 10^3$ ，微粒至细粒黄铁矿 S/Se 比有增大趋势，反映黄铁矿不同阶段温度降低的变化特点<sup>[1]</sup>。

### 3 矿床地球化学特征

#### 3.1 背景区元素地球化学

表 3 给出区内不同岩石类型的元素地球化学背景值，它们的变异系数大多偏低。对比花岗岩和张八岭群变火山岩的背景值可以看出，花岗岩过渡元素含量较高，反映了深源岩浆的特征；亲岩元素低铷高铯钡，揭示了钙碱性花岗岩的属性，矿化剂元素 F、P、As、Sb 相对偏低，成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb 明显大于维诺格拉多夫值 (1962)，而且变异系数相对较高，反映了成矿元素在岩体中的不均匀性。闪长质脉岩的元素地球化学习性与花岗岩相似，唯亲铁过渡元素和矿化剂元素含量较高且成矿元素 Cu、Pb、Ag 相对偏低。

表 3 元素地球化学背景值 ( $10^{-6}$ )

| 元 素 | 花岗岩 (11) |      | 闪长质脉岩 (11) |       | 张八岭群变火山岩 (11) |      |
|-----|----------|------|------------|-------|---------------|------|
|     | 平均含量     | 变异系数 | 平均含量       | 变异系数  | 平均含量          | 变异系数 |
| K   | 33517    | 21.2 | 27518      | 22.7  | 23539         | 40.8 |
| Na  | 23130    | 25.7 | 14698      | 67.9  | 29316         | 42.3 |
| Rb  | 98.5     | 25.7 | 74.9       | 18.2  | 44.2          | 49.2 |
| Sr  | 491      | 61.7 | 492        | 70.4  | 71.8          | 25.4 |
| Ba  | 1342     | 21.2 | 1488       | 35.0  | 770           | 50.5 |
| Nb  | 9.81     | 16.2 | 14.05      | 21.5  | 10.89         | 12.9 |
| Th  | 11.0     | 26.0 | 7.33       | 42.9  | 7.57          | 28.8 |
| Ni  | 39.5     | 19.6 | 133.8      | 24.5  | 12.6          | 11.3 |
| Co  | 13.2     | 18.5 | 47.0       | 57.2  | 4.8           | 25.3 |
| Ti  | 3139     | 20.1 | 5199       | 8.2   | 1470          | 45.2 |
| F   | 47.7     | 11.3 | 830        | 26.0  | 211           | 63.5 |
| P   | 848      | 14.1 | 1776       | 36.5  | 89.7          | 66.8 |
| As  | 2.84     | 40.7 | 3.36       | 56.5  | 1.29          | 37.3 |
| Sb  | 0.48     | 69.2 | 0.93       | 115.4 | 0.20          | 25.3 |
| Au  | 0.017    | 68.4 | 0.016      | 49.4  | 0.014         | 69.2 |
| Ag  | 0.48     | 64.2 | 0.37       | 62.6  | 0.13          | 30.6 |
| Cu  | 190      | 97.0 | 74.3       | 75.7  | 22.1          | 54.8 |
| Pb  | 68.4     | 65.2 | 46.0       | 68.9  | 21.6          | 71.9 |

注：括号内为样品数

#### 3.2 金矿石成矿元素组合

表 4 所列硫化物石英脉型金矿地球化学类型属于金-砷型，成矿元素组合主要为 Au、Ag、Cu、Pb，其中黄铁矿-毒砂阶段为金的主成矿期；黄铜矿-方铅矿阶段为 Ag、Au、Pb、Cu 成矿期。相关分析表明，Au 与 As、Sb 密切相关 ( $R=0.75, 0.72$ )，Ag 与 Cu、Zn、Pb 相关系数较高 ( $R=0.90, 0.66, 0.55$ )；聚类分析显示，Au、S、As、Sb 和 Ag、Cu、Zn、

表 2 破碎带蚀变岩型金矿石中黄铁矿的电子探针分析 (%)

| 类型     | 序号 | Au   | Ag   | Ni   | Co   | Fe    | S     | As   | Se   |
|--------|----|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 细粒黄铁矿  | 1  | 0.44 | 0.08 | 0.11 | 0.00 | 45.13 | 53.96 | 0.50 | 0.12 |
|        | 2  | 0.97 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 45.79 | 53.05 | 0.00 | 0.11 |
| 微细粒黄铁矿 | 3  | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 46.18 | 53.35 | 0.00 | 0.17 |

表 4 金矿石元素含量 ( $10^{-6}$ )

| 元 素 | 硫化物石英脉型 |        |         |        |        | 破碎带蚀变岩型 |        |
|-----|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
|     | I (5)   | II (3) | III (3) | IV (3) | 平均值    | 矿石 (7)  | 铁帽 (4) |
| K   | 14807   | 1107   | 291     | 2324   | 6086   | 9379    | 17658  |
| Na  | 1076    | 519    | 149     | 717    | 681    | 11230   | 25544  |
| Rb  | 66.6    | 7.2    | 5.0     | 10.9   | 27.4   | 30.1    | 50.6   |
| Sr  | 32.1    | 41.5   | 132.9   | 235.7  | 99.3   | 118.4   | 294.2  |
| Ba  | 222     | 62     | 154     | 7928   | 1824   | 807     | 517    |
| Nb  | 3.12    | 0.00   | 0.00    | 1.23   | 1.38   | 11.14   | 11.35  |
| Ni  | 25.9    | 103.0  | 14.0    | 23.8   | 39.4   | 119.6   | 21.3   |
| Co  | 12.7    | 89.7   | 7.0     | 19.6   | 29.5   | 30.3    | 16.5   |
| Ti  | 735     | 284    | 123     | 1677   | 769    | 3683    | 1777   |
| F   | 324     | 116    | 96      | 100    | 182    | 512     | 172    |
| P   | 342     | 1014   | 30.5    | 450    | 442    | 1349    | 216    |
| As  | 501     | 128300 | 4.5     | 228    | 27722  | 79.6    | 387    |
| Sb  | 1.5     | 79.5   | 96.9    | 0.66   | 38.5   | 1.09    | 0.57   |
| Au  | 5.18    | 44.32  | 3.50    | 0.54   | 12.21  | 13.90   | 0.13   |
| Ag  | 10.98   | 72.57  | 300.85  | 95.03  | 104.30 | 6.58    | 2.30   |
| Cu  | 2067    | 19847  | 37400   | 6807   | 14464  | 2707    | 114    |
| Pb  | 1948    | 213    | 562700  | 1904   | 121727 | 59      | 25     |

注: I、II、III、IV 依次为金-少硫化物, 毒砂-黄铁矿, 黄铜矿-方铅矿, 辉铜矿-硬锰矿; 括号内数字为样品数

Pb 各自成组, 代表了两个主要成矿阶段的独立性, 碱性和挥发性组分 F、B、K、Rb、Li 等相关性较高, 反映岩浆期后元素组合, 代表了热液活动过程中来自花岗岩的组分。

破碎带蚀变岩型金矿成矿元素以 Au 为主, Cu、Pb、Zn、Ag 等矿化不明显。矿石亲铁过渡元素含量普遍偏高, 尤其是铁的含量明显偏高; 矿化剂元素 F、B、P 等含量较高, As、Sb 偏低; 矿床地球化学类型属于金-铁型。成矿元素相关分析表明, Au 与 Ag、Pb 密切相关 ( $R=0.92, 0.93$ ), Au 与 As、Sb 相关性不明显 ( $R=0.46, 0.42$ ), 显示了破碎带蚀变岩型金矿与硫化物石英脉型的明显差异。聚类分析划分出三个组群: 金成矿元素组, 碱性和矿化剂元素组, 钠元素组; 其中金成矿元素组包括主要成矿元素和亲铁过渡元素, 钠单独组群与成矿元素及矿化剂元素呈负相关关系, 显示了它们在成因上的不同, 可能表明钠来自围岩的淋滤。

花岗岩聚类分析表明, 成矿元素 Ag、Cu、Pb、Zn 等与造岩元素呈明显的负相关, 而与亲石大离子元素 K、Rb、Nb、Th 等密切相关, 反映岩浆晚期热液活动成矿的特点。闪长质脉岩聚类分析金与矿化剂元素 S、Sb、Bi 密切相关, 花岗岩 Au 则与 As、Sb、Bi 相关, 这种差异反映了金在不同岩浆演化过程中的地球化学习性。

### 3.3 矿物包裹体特征

硫化物石英脉型金矿脉石英矿物包裹体测定表明, 均一温度为  $200\sim 336^{\circ}\text{C}$ , 硫化物爆裂温度为  $300\sim 460^{\circ}\text{C}$ 。包裹体盐度为  $9.73\%\sim 10.12\%$  NaCl, pH 为  $6.7\sim 6.8$ , 成矿热液属于中性-弱碱性。破碎带蚀变岩型金矿脉石英包裹体测定表明, 均一温度 ( $240\sim 395^{\circ}\text{C}$ ) 较硫化物石英脉型金矿略偏高; 盐度为  $10.6\%\sim 11.1\%$  NaCl, 亦略偏高。由于破碎带蚀变岩型金矿均一温度偏高, 成矿溶液介质密度 ( $\rho$ ) 相应偏低 ( $0.6\sim 0.7\text{ g/cm}^3$ ); 硫化物石英脉型

成矿溶液由盐度反映的介质密度随着均一温度的降低而升高 ( $0.85 \rightarrow 0.95 \text{ g/cm}^3$ ), 这就表明, 破碎带蚀变岩型成矿溶液含有较高的挥发组分, 其成矿压力可能相应较高, 物质来源可能较深。

流体包裹体气相成分以  $\text{H}_2\text{O}$  为主, 含有一定量的  $\text{CO}_2$ , 还原性气体  $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$  等含量较低,  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  (250~400) 及  $\text{CO}_2/\text{CO}$  (10~25) 比值较高, 反映了岩浆热液的特点。包裹体的液相组分主要是 K、Na、Ca、Mg 等, 其中 K、Na 的含量明显高于 Ca、Mg, 含氧酸根离子低于检测线, 酸根离子主要为  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  含量明显大于  $\text{F}^-$ 。K/Na 比值变化较大, 变化范围为 2.02~14.87, 上述特征表明成矿溶液为富钾中—弱碱性介质。

### 3.4 稳定同位素组成

张八岭地区闪长质脉岩  $\delta^{34}\text{S}$  平均值为 2.36‰, 接近于陨石硫。硫化物石英脉型金矿  $\delta^{34}\text{S}$  变化范围为  $-8.7\text{‰} \sim +6.2\text{‰}$ , 11 个样品平均值为  $-0.39\text{‰}$ ; 破碎带蚀变岩型金矿 6 个样品  $\delta^{34}\text{S}$  平均值为 4.66‰, 两种类型重硫富集 ( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S} > 22.22$ ), 特征与岩浆来源硫化物硫同位素组成相似。硫化物石英脉型金矿脉石英氧同位素变化范围为  $6.0\text{‰} \sim 12.1\text{‰}$ , 6 个样品平均值为 9.05‰, 利用 Clayton et al. (1972) 200~500℃ 石英-水系同位素分馏系数计算成矿热液  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  为  $-0.4\text{‰} \sim +3.3\text{‰}$ , 平均值为 0.00‰。脉石英  $\delta\text{D}$  变化范围  $-52\text{‰} \sim -75\text{‰}$ , 平均值为  $-63.4\text{‰}$ , 接近岩浆水均值, 明显高于中生代大气降水。样点分布于 300℃ 水岩交换氢氧同位素演变曲线岩浆水曲线旁侧, 反映成矿溶液主要来自岩浆水。 $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  向低值漂移, 可能表明少量大气降水混入。

## 4 讨 论

张八岭地区两种矿床类型金矿地质特征以及矿床地球化学特征表明它们属于岩浆热液矿床, 然而, 硫化物石英脉型和破碎带蚀变岩型金矿在矿石矿物组合、成矿元素组合、矿床地球化学类型以及成矿作用机制等方面存在着明显差异。硫化物石英脉型金矿亲石元素含量相对较高, 微量元素模式接近于花岗岩, 尤其是 Ba、Nb、Sr、Ti、P 等强烈亏损, 显示了岩浆晚期热液的特点。Au、Ag、Cu、Pb、Zn 成矿元素组合, 尤其是银多金属成矿代表了花岗岩浆期后热液成矿作用。岩浆岩研究资料<sup>[2]</sup>表明, 深熔花岗岩来源于古老变质基底。深熔作用使变质基底所含成矿物质活化进入岩浆, 花岗岩浆侵位至上部岩浆房结晶分异产生挥发组分富集的残余熔体, 进一步分异形成了岩浆期后成矿热液。

破碎带蚀变岩型金矿地球化学特征表明 Au 独自成矿, Cu、Pb、Zn 等不富集, 亲铁过渡元素富集, 亲石元素含量相对偏低, 矿化剂元素 F、B、P 等明显增高, Au 与 As、Sb 相关性显著降低, 显示了该类型在组分上与岩浆期后热液的差异, 揭示了成因上与闪长质脉岩的亲缘关系。本区闪长质脉岩明显的钍低负异常 ( $\text{Th}^* = 2\text{Th}_\text{N}/(\text{Rb}_\text{N} + \text{K}_\text{N})$  为 0.67), 反映源岩为钍严重丢失的古老变质基底, 尤其是稀土元素模式与花岗岩的相似性, 揭示了它们可能来自同一个源区。闪长质脉岩角闪石压力计反映的初始结晶深度为 21 km (0.65 GPa), 花岗岩角闪石压力计计算结果为 3.3 km (0.1 GPa)。闪长质脉岩碱总量达 5.29%, K/Na 比 (1.87) 明显高于花岗岩, 上述特征表明含有大量挥发性气体和明显偏高碱质的闪长质熔

浆不可能由花岗岩浆晚期分异形成,但是,它们可能来自于深部岩浆房结晶分异基性岩石的二次重熔,而且与地幔射气相关。因此,破碎带蚀变岩型金矿成矿热液与闪长质熔浆的分异演化关系密切。

### 参 考 文 献

- 1 王奎仁,杨海涛.黄铁矿的成因矿物学研究.矿物学岩石学论丛,1988,5,11~18.
- 2 李学明,李彬贤,张巽等.安徽管店花岗岩体的同位素地质年龄和郯庐断裂动力变质作用.中国科技大学学报,1985,(增刊):254~261.