

学 术 论 文

个旧锡矿地球化学及成矿作用演化

秦德先, 黎应书, 范柱国, 陈爱兵, 谈树成, 洪 托, 李连举, 林小平
(昆明理工大学矿产地质研究所, 昆明 650093)

[摘要] 关于个旧锡矿床的成因, 过去多数人持“花岗岩岩浆期后热液成矿”观点。笔者的研究成果表明, 个旧锡矿具有多期、多源成矿, 可划分为 3 个成矿系列, 即印支期海底基性火山成矿系列、海底喷流成矿系列和燕山晚期花岗岩改造(叠加)成矿系列, 成矿模式可归结为“裂谷环境—火山沉积—喷流热水沉积—花岗岩叠加改造”;在划分成矿系列的基础上, 重点从矿床的微量及稀土元素、稳定同位素及流体包裹方面来论证新的成矿观点。

[关键词] 个旧锡矿; 地球化学; 稳定同位素; 成矿作用演化

[中图分类号] P611; P618.44 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)01-0030-10

个旧锡矿是中外著名的超大型锡多金属矿床, 锡储量和 20 世纪后 50 年代以来的锡产量均居世界前列。但目前矿山资源危机, 急需加强找矿研究。过去认为个旧锡矿为“花岗岩成矿”^[1~4], 并以此理论指导矿床勘查。笔者的研究成果对个旧锡矿成矿作用的深化研究和开阔新的找矿思路将会起到有益的作用。

1 地质概况

个旧锡矿位于华南地槽褶皱区右江地槽褶皱带西缘。北西以弥勒—师宗岩石圈断裂与康滇地轴相接, 西南以哀牢山—黑水河超岩石圈断裂与哀牢山构造带为界^[5]。

根据区域重磁异常资料^[4], 滇东南地区莫霍面等深线大致呈北东向平行分布, 由南东的马关—广南一带为 44 km, 往北西的石屏—弥勒一带为 47 km, 在个旧—兴义—晴隆一带处于慢坡由缓变陡地带。石炭—二叠纪北东向的弥勒—师宗岩石圈断裂陷, 发生了大规模海相偏碱性的基性、中酸性火山作用, 形成了厚约 3 000 m 的“双峰式”火山

岩套; 印支早、中期个旧—兴义—晴隆同生大断裂(大致与弥勒—师宗岩石圈断裂平行)裂陷下沉, 伴随发生了多次偏碱性基性火山活动、火山沉积成矿及喷流热水沉积成矿作用, 形成了厚约 3 000 ~ 5 200 m 呈北东向狭长状分布的含矿细粒碎屑岩—碳酸盐岩—基性火山建造。

矿区外围出露前中生代地层, 矿区广泛发育三叠系, 自下而上是: 下石炭统—下二叠统($C_1 - P_1$)基性及中酸性火山建造, 厚 2 423 m; 上二叠统龙潭组(P_2l)细粒碎屑建造及含煤建造, 厚度大于 332 m; 下三叠统飞仙关组(T_1f)和永宁镇组(T_1u)砂泥岩建造, 厚 582 ~ 830 m; 中三叠统个旧组(T_2g)和法郎组(T_2f)细粒碎屑建造、碳酸盐建造夹基性火山建造, 厚约 3 200 ~ 6 800 m, 是个旧锡矿的最主要容矿地层; 上三叠统鸟格组(T_3n)和火把冲组(T_3h)细粒碎屑建造, 厚约 500 ~ 1 200 m, 具纹层状铅锌矿化^[4]。上述各组地层间除 P_2l 与 T_1f , T_1f 与 T_2g 为假整合接触外, 均为整合接触关系。

个旧锡矿区以南北向个旧断裂(小江岩石圈断

[收稿日期] 2004-08-17; 修回日期 2005-10-17

[基金项目] 国家“十五”科技攻关资助项目(2004BA615A-03)和云南省自然科学基金资助项目(2003D00008Q)

[作者简介] 秦德先(1939-), 云南楚雄市人, 昆明理工大学教授, 博士生导师

裂南延部份) 分为东、西两个矿区。个旧锡矿主要产于东矿区。东矿区骨干构造主要是南北—北北东、东西向的复式褶皱和大断裂。北北东向的五子山复式背斜是东矿区的控矿构造, 东西向的 5 条大断裂将矿带自北而南分为马拉格、松树脚、高松、老厂、双竹和卡房 6 个矿田。

岩浆活动除海西—印支期火山作用外, 燕山期还发生了强烈的花岗岩作用。个旧东矿区老厂—卡房花岗岩体和马拉格—松树脚花岗岩体⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为 (81.6 ± 0.3) Ma ~ (82.3 ± 0.3) Ma^[6], Rb - Sr 法年龄为 (81.0 ± 4.9) Ma ~ (90.4 ±

6.3) Ma^[7]。

2 成矿系列与矿床特征

根据成矿大地构造演化、成矿作用、矿床地质和成矿时代, 将个旧锡矿分为 3 个成矿系列^[8], 即印支期海底基性火山沉积成矿系列 (下简称系列)、印支期海底喷流沉积成矿系列 (下简称系列)、燕山期花岗岩叠加改造成矿系列 (下简称系列)。在此基础上又根据矿床产出特征、矿石建造, 在 3 个成矿系列中可划分了 7 个矿床类型^[9] (表 1)。

表 1 成矿系列与矿床特征

Table 1 The series of mineralization and characteristics of the deposits

| 成矿系列 | 系列 | | 系列 | | 系列 | | |
|--------------|---|--------------|---|------------|--|-------------|-------------------|
| 矿床类型 | -1 块状硫化物铜锡矿床 | -2 块状硫化物铜金矿床 | -1 块状硫化物锡铅 (银) 矿床 | -2 含锡白云岩矿床 | -1 矽卡岩硫化物锡铜矿床 | -2 断裂带锡铅银矿床 | -3 电气石细脉型矿床 (见封面) |
| 构造演化 | 地壳拉张, 裂谷下沉, 海底基性火山沉积成矿作用 | | 地壳拉张, 裂谷下沉, 海底喷流热水溶积成矿作用 | | 地壳挤压上升, 裂谷闭合, 花岗岩气液叠加改造成矿作用 | | |
| 矿体产状 | T ₂ g ₁ 蚀变玄武岩中, 呈似层状、透镜状与围岩整合产出 | | T ₂ g ₁ ⁵ 、T ₂ g ₁ ⁶ 碳酸盐、硅质碳酸盐中, 呈层状、透镜状与围岩整合产出 | | T ₂ g ₁ 厚层白云岩中似层状产出, 由大量微细矿脉交织而成 | | |
| 金属矿物 | 黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、锡石 | | 磁黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、锡石、铁闪锌矿 | | 磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、锡石 | | |
| 非金属矿物 | 阳起石、透闪石、金 (黑) 云母 | | 石英、方解石、白云石 | | 透辉石、石榴石、阳起石、透闪石、方解石 | | |
| 围岩蚀变 | 纤闪石化、金 (黑) 云母化 | | 微弱 | | 矽卡岩化 | | |
| 矿石结构构造 | 纹层条带状、结核状构造, 常见黄铁矿呈鲕状结构 | | 块状、纹层条带状构造, 黄铁矿常见呈鲕状、胶状、草梅状结构 | | 致密块状、条带状构造, 交带残余结构 | | |
| Ar-Ar 法同位素年龄 | 98 ~ 158.97 Ma | | 191.81 ~ 205.11 Ma | | 79.42 ~ 83.96 Ma | | |
| 矿床规模及典型矿床实例 | 中大型, 老厂竹叶山 13 ~ 23 号矿体等 | | 中大型, 芦塘坝 10 号矿体等 | | 中大型, 松矿 1 ~ 3, 1 ~ 2, 老厂 5, 14, 18 号等矿体 | | |

3 矿床地球化学

3.1 微量元素

采集各类矿石、矿物和玄武岩、花岗岩的微量元素分析样品 50 多件送国土资源部宜昌地质矿产研究所分析, 加上个旧 308 地质队部分样品分析数

据的综合结果 (表 2) 看出:

1) 个旧锡矿区玄武岩、花岗岩和碳酸盐岩, 其主要成矿元素 Sn, Cu (Pb, Zn, Ag) 含量均超过地壳同类岩石的若干倍, 这可能就是个旧锡矿成矿以 Sn, Cu 为主金属的主要原因。

2) 玄武岩 Sn, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co,

Cr 含量较高，花岗岩较低，碳酸盐岩介于玄武岩与花岗岩间。可能说明主要成矿元素 Sn，Cu 与基性—超基性岩的特征元素 Ni，Co，Cr，主要与玄武岩共同来自幔源，部分可能来自花岗岩和碳酸盐岩地层。

表 2 个旧各类岩石和矿石微量元素 (×10⁻⁶)

Table 2 The microelements of rocks and ores in Gejiu tin deposits

| 测试对象 | 样数 | Ni | Co | Cu | Zn | Ag | Sn | Mo | W | Pb | Cr | V | Sr | Ba | B |
|------|------|-------|------|----------|---------|----------|----------|-----------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|
| (1) | 10.0 | 186.1 | 33.4 | 186.0 | 247.0 | 1.2 | 37.7 | 1.9 | 6.4 | 71.0 | 305.8 | 204.9 | 523.7 | 114.4 | 12.7 |
| (2) | 13.0 | 5.0 | 4.1 | 12.1 | 141.7 | 0.1 | 25.6 | 1.7 | 7.0 | 60.0 | 5.5 | 4.0 | 54.5 | 103.5 | 73.0 |
| (3) | 29.0 | 73.1 | 13.5 | 15.3 | 47.8 | 0.1 | 29.6 | Bi0.52 | 0.9 | 30.3 | 66.8 | 68.0 | 429.6 | 124.1 | Be0.8 |
| (4) | 4.0 | 30.7 | 30.9 | 46 408.0 | 1 750.0 | 6.0 | 42 250.0 | 40.0 | 675.0 | 25.0 | 10.4 | / | | | 185.2 |
| 矿床系列 | (5) | 6.0 | 47.5 | 64.8 | 4 715.7 | 97.2 | 16 364.0 | 2.0 | 306.9 | 366.4 | 4.0 | 31.0 | 6.5 | 12.8 | 7.0 |
| | (6) | 1.0 | 8.0 | 10.9 | 1 750.0 | 169.0 | 231.0 | 751 000.0 | 34.2 | 1 390.0 | 226.0 | 10.0 | 55.2 | 5.0 | 5 000.0 |
| | (7) | 12.0 | 18.3 | 8.3 | 8 689.0 | 13 144.0 | 35.9 | 19 566.0 | 49.3 | 391.3 | 9 724.0 | 20.4 | 18.6 | 3.0 | 9.1 |
| 矿床系列 | (8) | 1.0 | 8.0 | 0.4 | 331.0 | 9.0 | 5.2 | 29 900.0 | / | / | 96.0 | 10.0 | 31.0 | 6.0 | 9.8 |
| | (9) | 4.0 | 4.0 | 1.9 | 62.0 | 44.3 | 1.2 | 777 000.0 | 0.6 | 545.6 | 301.0 | 6.7 | 90.0 | 1.0 | 32.4 |
| | (10) | 12.0 | 12.2 | 6.4 | 3 535.0 | 580.0 | 2.2 | 445 800.0 | 23.3 | 260.0 | 670.8 | 17.5 | / | | 94.2 |
| 矿床系列 | (11) | 2.0 | 23.3 | 3.0 | 633.0 | 3 758.5 | 59.0 | 3 300.0 | 0.5 | 1.2 | 3 267.5 | 7.4 | 25.1 | 7 503.5 | 5.8 |
| | (12) | 6.0 | 6.8 | 1.6 | 128.0 | 1 613.7 | 8.2 | 0.7 | 9.4 | 689.5 | 7 984.5 | 4.5 | 24.0 | 23.7 | 4.2 |

(1) 一个旧东区玄武岩；(2) 一竹林、卡房、麒麟山花岗岩；(3) 一个旧组碳酸盐岩；(4) 一竹叶山、老厂条带状硫化矿矿石（矿床系列 -1）；(5) 一竹叶山、老厂条带状硫化矿（矿床系列 -1）中黄铁矿；(6) 一竹叶山条带状硫化矿（矿床系列 -1）中锡石；(7) 一芦塘坝硫化矿（矿床系列 -1）矿石；(8) 芦塘坝硫化矿中黄铁矿；(9) 一芦塘坝硫化矿中锡石；(10) 一老厂（矿床系列 -1）、龙树脚（矿床系列-3）硫化矿矿石；(11) 一老厂、龙树脚硫化矿中黄铁矿；(12) 一老厂、龙树脚及大斗山硫化矿中锡石

3) 矿石微量元素 R 聚类分析结果（图 1），Sn，Cu 主要成矿元素与 Ni，Co，Cr 等基性—超基性岩的特征元素，在相关系数约 0.86 时聚类在一起，也暗示主要成矿物质与玄武岩共同来自幔源。

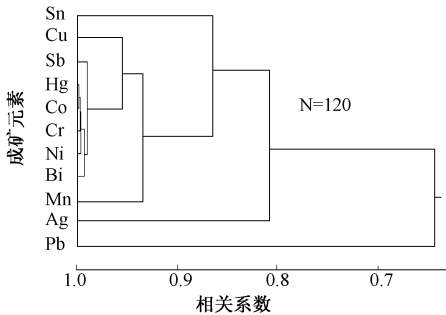


图 1 个旧锡矿矿石微量元素 R 聚类分析 (120 件样品)

Fig. 1 The R-type clustering analysis of microelement in Gejiu tin deposits

4) 系列 矿石 Cu，Sn，Ni，Co 含量较高，其次是系列，系列 较低，说明矿石中 Cu，Sn，Ni，

Co 对于玄武岩有继承性和一致性关系，也说明三个成矿系列有一定成因关系，前二个成矿系列与玄武岩作用有直接关系，即系列 是玄武质火山—沉积成因，系列 是玄武岩作用期后喷流—沉积成矿的产物；系列 则是前两个系列经后期花岗岩叠加改造的结果，与玄武岩作用有间接成因关系。

5) 系列 矿石中 Pb，Zn，Ag 比其他两个系列矿床高，可能与深部玄武岩浆末期分异有关，也可能部分 Pb，Zn，Ag 来自地层。

6) 系列 锡石含 Sn 最高，但含其他成矿元素低；系列 锡石含 Sn 中等，含 Ni，Co，Cr，Cu，Ag 较高，对于玄武岩有明显的继承性和一致性关系；系列 锡石含 Sn 最低，含 Zn，Pb 较高。

3.2 稀土元素

采集各类矿石、矿物和玄武岩、花岗岩的稀土元素样品 45 件送国土资源部宜昌地质矿产研究所分析，加上个旧 308 地质队原来的 32 件分析样品，每件样品都分析了 15 个稀土元素（REE）。从整理结果（表 3 和图 2、图 3）可看出：

1) 花岗岩、玄武岩、碳酸盐岩的 REE 逐渐

增加，矿石和锡石的 REE 比岩石低，稀土配分曲线在图上总体依次自上而下分布，各成矿系列的矿石和锡石的稀土配分曲线分布在岩石的稀土配分曲线之下，但相对花岗岩而言，更靠近玄武岩（系列 1 矿石例外）；而系列 1 矿石更靠近花岗岩；玄武岩、花岗岩的 $LREE/HREE$ （轻稀土元素/重稀土元素）依次分别为 4.05，1.52，矿石和锡石的 $LREE/HREE$ 为 2.12~3，介于玄

武岩与花岗岩之间，但，系列的矿石和锡石的 $LREE/HREE$ 较高（2.29~3），对于玄武岩的继承性更明显；系列 1 较低（2.12~2.92），对于花岗岩的继承性更明显，这从稀土配分曲线的陡缓和形态也可看出。，系列矿石和锡石与玄武岩的稀土配分曲线总体一致，说明对于玄武岩的继承性关系，而系列 1 矿石和锡石与花岗岩的稀土配分曲线大体一致，说明对于花岗岩的继承性关系。

表 3 个旧各类岩石和矿石稀土元素 ($\times 10^{-6}$)

Table 3 The REE in all kinds of rocks and ores in Gejiu tin ore deposits

| 岩矿类型 | 样数 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Y | A | B | C | D | |
|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|--------|--------|------|------|
| 矿床系列 | (1) | 30.00 | 25.20 | 50.10 | 6.24 | 27.40 | 6.46 | 1.70 | 5.23 | 0.90 | 4.92 | 0.82 | 2.13 | 0.28 | 1.68 | 0.24 | 12.70 | 146.00 | 4.05 | 0.87 | 1.07 |
| | (2) | 8.00 | 25.70 | 59.50 | 7.43 | 27.60 | 8.14 | 0.20 | 7.12 | 1.35 | 8.85 | 1.65 | 4.94 | 0.84 | 5.88 | 0.85 | 53.10 | 213.00 | 1.52 | 0.08 | 1.17 |
| | (3) | 18.00 | 7.15 | 14.00 | 1.60 | 6.88 | 1.63 | 0.21 | 1.16 | 0.20 | 1.29 | 0.24 | 0.69 | 0.11 | 0.70 | 0.11 | 7.49 | 43.40 | 2.62 | 0.45 | 1.09 |
| | (4) | 2.00 | 2.21 | 4.16 | 0.43 | 1.59 | 0.40 | 0.07 | 0.25 | 0.05 | 0.27 | 0.05 | 0.15 | 0.02 | 0.20 | 0.05 | 1.92 | 11.81 | 3.00 | 0.62 | 1.10 |
| | (5) | 1.00 | 1.99 | 6.07 | 0.80 | 6.40 | 1.59 | 0.08 | 0.73 | 0.07 | 0.27 | w | 0.15 | 0.02 | w | w | 0.42 | 16.90 | 10.00 | 0.10 | 1.33 |
| | (6) | 1.00 | 1.02 | 1.24 | 0.09 | 0.42 | 0.10 | 0.04 | 0.17 | 0.03 | 0.17 | 0.04 | 0.09 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.63 | 4.18 | 2.29 | 0.93 | 0.87 |
| | (7) | 2.00 | 0.19 | 0.57 | 0.06 | 0.24 | 0.10 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.24 | 1.64 | 2.64 | 1.22 | 1.46 |
| 矿床系列 | (8) | 1.00 | 3.13 | 2.77 | 0.22 | 0.66 | 0.05 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 6.95 | 62.20 | 0.73 | 0.66 | |
| | (9) | 3.00 | 1.33 | 1.72 | 0.14 | 0.67 | 0.18 | 0.02 | 0.17 | 0.01 | 0.19 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.07 | w | 1.12 | 5.75 | 2.40 | 0.34 | 0.89 |
| 矿床系列 | (10) | 5.00 | 20.10 | 58.80 | 7.50 | 35.30 | 9.87 | 0.22 | 11.90 | 2.25 | 12.00 | 2.96 | 5.60 | 1.35 | 8.79 | 1.29 | 16.00 | 194.00 | 2.12 | 0.06 | 1.32 |
| | (11) | 1.00 | 7.66 | 31.30 | 0.11 | 0.50 | 0.12 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 39.90 | 181.00 | 0.42 | 3.43 |
| | (12) | 2.00 | 1.85 | 3.92 | 0.43 | 1.74 | 0.49 | 0.03 | 0.34 | 0.06 | 0.40 | 0.08 | 0.22 | 0.04 | 0.39 | 0.06 | 1.27 | 11.27 | 2.92 | 0.22 | 1.17 |

A — REE, B — $LREE/HREE$, C — $Eu/D-Ce$; (1) 一个旧东区玄武岩; (2) 一竹林、卡房、麒麟山花岗岩; (3) 一个旧组碳酸盐岩; (4) 一竹叶山、老厂条带状硫化矿矿石 (矿床系列 - 1); (5) 一竹叶山、老厂条带状硫化矿 (矿床系列 - 1) 中黄铁矿; (6) 一竹叶山条带状硫化矿 (矿床系列 - 1) 中锡石; (7) 一芦塘坝硫化矿 (矿床系列 - 1) 矿石; (8) 一芦塘坝硫化矿中黄铁矿; (9) 一芦塘坝硫化矿中锡石; (10) 一老厂 (矿床系列 - 1)、龙树脚 (矿床系列 - 3) 硫化矿矿石; (11) 一老厂、龙树脚硫化矿中黄铁矿; (12) 一老厂、龙树脚及大斗山硫化矿中锡石

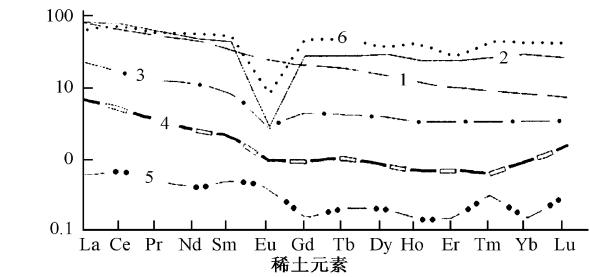


图 2 个旧锡矿岩石和矿石稀土元素配分曲线

Fig. 2 The REE curve of rocks and ores in Gejiu tin ore deposits

1—东区玄武岩; 2—竹林、卡房、麒麟山花岗岩; 3—一个旧组碳酸盐岩; 4—竹叶山、老厂条带状硫化矿矿石; 5—芦塘坝硫化矿; 6—老厂、龙树脚硫化矿矿石

2) 各种岩、矿石和矿物的 Eu (指 Eu 的测试值与 Sm , Gd 测试值之和一半的比值, 表示 Eu 的异常程度) 以负异常为主。玄武岩的 Eu 值较高,

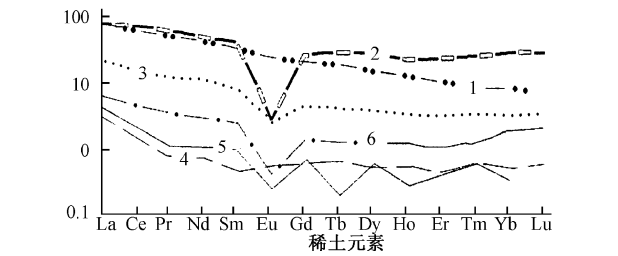


图 3 个旧锡矿岩石和矿石稀土元素配分曲线

Fig. 3 The REE curve of rocks and ores in Gejiu tin ore deposits

1—一个旧东区玄武岩; 2—竹林、卡房、麒麟山花岗岩; 3—一个旧组碳酸盐岩; 4—竹叶山、老厂条带状硫化矿锡石; 5—芦塘坝硫化矿中锡石; 6—老厂、龙树脚硫化矿锡石

为 0.87，花岗岩的 Eu 值较低，为 0.08，矿床系列 1 矿石及其中锡石的 Eu 值较高，分别为 0.62，1.22 及 0.93，0.34；矿床系列 1 矿石及其中锡石的 Eu 值较低，分别为 0.06，0.22，也说

明成矿系列， 的 Eu 对于玄武岩有一定继承性关系；矿床系列 的 Eu 对于花岗岩有一定继承性关系。

3) Ce (指 Ce 的测试值与 La, Pr 测试值之和一半的比值，表示 Ce 的异常程度) 以正异常为主，玄武岩较低 (1.07)，花岗岩较高 (1.17)，矿石和锡石以成矿系列， 较低，分别为 0.62 ~ 1.22 和 0.34 ~ 0.93，成矿系列 较高 (1.17 ~ 3.43)，暗示系列， 与玄武岩关系较密切，系列 与花岗岩关系较密切。

3.3 硫同位素

采集围岩和矿石中硫化物单矿物硫同位素分析样品共 21 件送国土资源部宜昌地质矿产研究所进行分析，加上个旧 308 地质队原分析的样品 35 件，从分析结果 (表 4) 看出：

表 4 个旧锡矿硫同位素组成

Table 4 The sulfur isotopes composition in Gejiu tin ore deposits

| 样号 | 取样位置 | A | B | 矿物 | C | 样号 | 取样位置 | A | B | 矿物 | C |
|------|------------------------|---|---|-----|--------|---------|------------------------------|---|---|------------------------------|------------|
| LC01 | 老厂 5 号矿体 | | | Pyr | - 0.26 | 马 1800 | 塘子凹中段 | | | Pyr | 7.14 |
| LC04 | 老厂 - 18504 块矿体 | | | Py | - 0.82 | T9 | 塘子凹 32 号矿体 | | | 块状状、层纹条带状 - 1 铜、锡硫化矿花岗岩接带硫化矿 | Pyr - 0.23 |
| LC04 | 老厂 504 块矿体 | | | Pyr | - 0.83 | T1 | 塘子凹 32 号矿体 | | | | Cpy 1.86 |
| LC07 | 老厂北 3 号块矿体 | | | Pyr | 0.46 | S66 | 松树脚 1820 坑 023 号矿体 | | | | Fsph 8.37 |
| Z40 | 竹叶山坑西巷 5 号 13 - 2 号矿体 | | | Py | - 0.52 | S67 | 松树脚 1820 坑 .01 - 4 号矿体 | | | | Pyr 3.84 |
| Z8 | 竹叶山西巷 13 - 2 号矿体 | | | Cpy | - 0.01 | S68 | 松树脚 1820 坑 2 - 6 号矿体 | | | 花岗岩接带砂卡岩硫化 - 1 矿 | Pyr 5.98 |
| Z12 | 竹叶山东巷 13 - 2 号矿体 | | | Apy | - 0.59 | S69 | 松树脚 1820 坑 1 - 5 号矿体 | | | | Pyr 4.91 |
| S20 | 卡房 1800 中段 6100 坑 | | | Cpy | 3.3 | S6 | 马拉格 6240 坑 4 穿 | | | | Cpy 4.84 |
| | 卡房 1800 中段 6100 坑 | | | Cpy | - 1.4 | S8 | 马拉格 7200 坑 14 穿 | | | 花岗岩接带砂卡岩硫化 - 1 矿 | Pyr 9.44 |
| S31 | 卡房金光坡 1820 坑 | | | Pyr | 2.6 | S21 | 马拉格 6240 坑 14 穿 | | | | Pyr 7.3 |
| | 卡房金光坡 1820 坑 | | | Pyr | - 1.8 | S22 | 马拉格 6240 坑 14 穿 | | | | Cpy 6.77 |
| S32 | 卡房金光坡 1820 坑 | | | Apy | 1.18 | S4 | 打磨山 025 号矿体 | | | - 1 砂卡岩硫化矿 | Apy 8.34 |
| | 卡房金光坡 1820 坑 | | | Apy | - 2.5 | M - 8 | 马拉格 | | | | Py 4.24 |
| S33 | 卡房金光坡 1820 坑 | | | Cpy | 1.27 | KY - 05 | 冬瓜林主沿脉 | | | | Py 0.8 |
| S34 | 卡房金光坡 1820 坑 | | | Cha | 2.42 | Lc35 | 老厂号矿体 | | | 花岗岩接带砂卡岩硫化 - 1 矿 | Py 1.58 |
| | 卡房 5100 大坑 | | | Cpy | - 0.91 | M7 - 2 | 马拉格七道巷 | | | | Py 4.6 |
| S36 | 卡房 5100 大坑 | | | Py | 1.36 | S18 | 松树脚 1820 中段 4081 | | | | Cpy 3.9 |
| S37 | 卡房 3100 大坑 | | | Py | 2.87 | S19 | 松树脚 1920 中段 6 - 21 号矿体 | | | | Cpy 4.64 |
| S38 | 卡房新山庙 75 - 147 孔 | | | Cpy | 3.13 | S23 | 松树脚 2095 坑 6 - 27 号东矿体 | | | - 2 松树脚东西断裂带矿 | Cpy 4.11 |
| S40 | 卡房 WCu 矿原 - 24 号 | | | Cpy | - 0.86 | S24 | 松树脚 1995 - 2045 坑 6 - 20 号矿体 | | | | Pyr 5.26 |
| S70 | 松树脚 1820 坑 194 - 9 号矿体 | | | Ca | - 2.12 | S65 | 松树脚 2095 坑 6 - 31 号矿体 | | | - 2 断裂带脉状矿 | Ca 1.71 |
| S9 | 白泥洞 8 号矿体采场 | | | Ca | 1.8 | S5 | 马拉格 1730 坑 101 号矿体 | | | - 2 东西断裂带矿 | Py 3.94 |
| B33 | 马吃水 5 支 203 平巷 203 号矿体 | | | Py | 1 | S14 | 老阴山豺狗洞 6 号坑 | | | - 2 龙树脚断裂带脉状矿 | Ca 6.6 |
| B7 | 芦塘坝号堑沟 10 - 14 号矿体 | | | Pyr | 1.13 | 龙 6 - 2 | 龙树脚 25 穿 - 11 - 1 号矿体 | | | | Apy 1.02 |
| B12 | 芦塘坝 115 号矿体 | | | Pyr | 1.23 | 龙 6 - 2 | 龙树脚 25 穿 - 11 - 1 号矿体 | | | | Pyr 0.83 |
| B23 | 芦塘坝 10 - 5 号矿体 | | | Pyr | 3.56 | | | | | 地层 碳酸盐岩 | |
| B18 | 芦塘坝 10 - 12 号矿体 | | | Pyr | 0.49 | R19 - 1 | 麒麟山剖面 T13 | | | | Py 11.1 |
| B42 | 芦塘坝 10 - 14 号矿体 | | | Ca | - 1.9 | R19 - 1 | 麒麟山剖面 T13 | | | | Py 11.02 |
| | | | | | | | 塘子凹中段 | | | | pyr 7.14 |

Ca - 方铅矿；Pyr - 磁黄铁矿；Py - 黄铁矿；Cpy - 黄铜矿；Apy - 毒沙；Sph - 闪锌矿；Kf - 钾长石；样品由宜昌地质矿产研究所测试

1) 56 件样品中有矿石的硫化物样品 53 件, 地层中硫化物样品 3 件, 53 件矿石硫化物样品的 ^{34}S 值为 $-0.31\% \sim +0.94\%$, 其中 48 件样品 (占矿石硫化物样品总数 90.5%) ^{34}S 值在 $-0.25\% \sim +0.491\%$, 多为幔源硫, 主要与基性火山作用有成因关系。

2) 系列 ^{34}S 分布范围在 $-0.25\% \sim +0.33\%$ 之间, 系列 ^{34}S 分布范围在 $-0.21\% \sim +0.356\%$ 之间, 二者 ^{34}S 分布范围大体一致, 硫来源基本一致性, 与基性火山作用有关。

3) 矿床系列 ^{34}S 值在 $-0.023\% \sim +0.944\%$ 之间, 以正值为主, 在 ^{34}S 直方图上呈三峰分布, 主峰 ^{34}S 众数值约为 0% , 两个小峰

^{34}S 众数值分别约为 $+0.4\%$ 和 $+0.8\%$, 可能说明硫源主要来自基性火山作用, 少量来自地层和花岗岩作用。

4) 三件碳酸盐岩地层中硫化物 ^{34}S 值为正值为 $+0.714\% \sim +1.11\%$, 硫可能来自还原环境中的沉积地层硫; 野外观察, 黑色泥质灰岩中黄铁矿呈散点状沿纹层分布, 也说明是沉积地层硫; 值得注意的是地层中硫化物正值不大, 是否地层中硫也与火山活动有一定成因联系, 值得进一步研究。

3.4 铅同位素

各类矿石和少量围岩中铅同位素样品共 18 件, 送宜昌地质矿产研究所进行了铅同位素分析, 从结果 (表 5) 看出:

表 5 个旧锡矿 Pb 同位素测试结果

Table 5 The test results of lead isotopes in Gejiu tin ore deposits

| 编号 | 地质体及岩性 | 测定矿物 | 系列 | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | μ 值 | Th/U | 1 年龄 (Ma) | 2 年龄 (Ma) |
|---------|--------------------------------|------|----|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|------|--------------|--------------|
| 40 | 竹叶山 1 750 m 中段 13 - 2 号硫化矿 | Py | | 18.432 \pm 0.01 | 15.663 \pm 0.01 | 38.763 \pm 0.03 | 9.59 | 3.87 | 224.93 | 253.31 |
| Z8 | 竹叶山 1 750 m 中段硫化矿 | | | 18.428 \pm 0.01 | 15.653 \pm 0.01 | 38.821 \pm 0.01 | 9.57 | 3.89 | 215.7 | 243.82 |
| Z12 | 竹叶山 1 750 m 中段硫化矿 | ppy | | 18.402 \pm 0.01 | 15.619 \pm 0.01 | 38.708 \pm 0.01 | 9.5 | 3.85 | 192.73 | 220.59 |
| LC04 | 老厂 - 118 m 中段 5 号矿体 | Py | | 18.412 \pm 0.01 | 15.650 \pm 0.01 | 38.741 \pm 0.01 | 9.56 | 3.87 | 223.44 | 251.84 |
| LC04 | 老厂 - 118 m 5 号矿体 | Pyr | | 18.439 \pm 0.01 | 15.659 \pm 0.01 | 38.821 \pm 0.03 | 9.58 | 3.89 | 215.14 | 243.22 |
| B33 | 马吃水 1 720 m 中段硫化矿 | Py | | 18.403 \pm 0.01 | 15.624 \pm 0.01 | 38.728 \pm 0.02 | 9.51 | 3.86 | 198.3 | 226.08 |
| B7 | 芦塘坝 1 720 m 中段 10 - 14 号硫化矿 | Pyr | | 18.413 \pm 0.01 | 15.662 \pm 0.01 | 38.873 \pm 0.02 | 9.59 | 3.93 | 237.24 | 266.03 |
| B12 | 芦塘坝 1 690 m 中段 115 号脉状硫化矿 | Pyr | | 18.447 \pm 0.01 | 15.694 \pm 0.01 | 38.971 \pm 0.02 | 9.64 | 3.96 | 251.65 | 280.74 |
| B23 | 芦塘坝 1 690 m 中段 10 - 5 号硫化矿 | Pyr | | 18.442 \pm 0.01 | 15.663 \pm 0.01 | 38.873 \pm 0.02 | 9.59 | 3.92 | 217.84 | 245.98 |
| B18 | 芦塘坝 1 690 m 中段 10 - 12 号硫化矿 | Pyr | | 18.384 \pm 0.01 | 15.619 \pm 0.01 | 38.735 \pm 0.01 | 9.5 | 3.88 | 205.81 | 233.79 |
| B42 | 芦塘坝 1 720 m 中段 10 - 14 号硫化矿 | Ga | | 18.425 \pm 0.01 | 15.674 \pm 0.01 | 38.914 \pm 0.01 | 9.61 | 3.94 | 243.19 | 272.11 |
| T1 | 塘子凹 1 800 中段 32 号硫化矿 | Cpy | | 18.421 \pm 0.01 | 15.644 \pm 0.01 | 38.715 \pm 0.01 | 9.55 | 3.85 | 209.79 | 237.77 |
| 龙 6 - 2 | 龙树脚 1 520 m 中段碳酸盐型石英硫化矿 | Py | | 18.391 \pm 0.01 | 15.674 \pm 0.01 | 38.893 \pm 0.02 | 9.61 | 3.95 | 267.51 | 297.24 |
| T9 | 塘子凹坑 1 850 m 中段 32 号硫化矿 | Pyr | | 18.330 \pm 0.01 | 15.637 \pm 0.01 | 38.799 \pm 0.01 | 9.55 | 3.93 | 266.45 | 296.35 |
| LC01 | 老厂 - 98 m 3 - 1 - 1 号萤石硫化物矿体 | Pyr | | 18.557 \pm 0.01 | 15.657 \pm 0.01 | 38.837 \pm 0.02 | 9.56 | 3.83 | 127.25 | 153.65 |
| LC07 | 老厂 - 98 m 3 - 1 - 1 号矿体 | Pyr | | 18.421 \pm 0.01 | 15.617 \pm 0.01 | 38.714 \pm 0.01 | 9.5 | 3.85 | 176.19 | 204.21 |
| 龙 6 - 2 | 龙树脚 1 520 m 25 穿 - 11 - 1 号脉状矿 | Apy | | 18.342 \pm 0.01 | 15.618 \pm 0.01 | 38.719 \pm 0.05 | 9.51 | 3.89 | 234.63 | 263.57 |
| 马 1800 | 塘子凹 1800 中段顺层条带状阳起石硫化大理岩 | Pyr | | 18.509 \pm 0.01 | 15.700 \pm 0.01 | 38.921 \pm 0.02 | 9.65 | 3.9 | 214.99 | 242.84 |

1) —根据 Tatsumoto (1973) 参数 ($a = 9.307$; $b = 10.294$) 计算结果; 2) —根据 Murthy. Pattersou (1962) 参数 ($a = 9.56$; $b = 10.42$) 计算结果; Ga—方铅矿; Pyr—磁黄铁矿; Py—黄铁矿; Cpy—黄铜矿; Apy—毒砂; Sph—闪锌矿; Kf—钾长石; 样品由宜昌地质矿产研究所测试

1) 18 件样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.330 ~ 18.557, 变化率 1.22 %, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.617 ~ 15.70, 变化率 0.53 %, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.708 ~ 38.971, 变化率 0.67 %, 数据集中, 分布范围稳定, 具典型单阶段正常铅的组成特点, 以幔源铅为主^[10]。

2) μ ($^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$) 为 9.51 ~ 9.65, K ($^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$) 为 3.83 ~ 3.95, 参数分布集中, 说明各矿床、岩石源区铀、钍分布比较均匀, 多具幔源铅的特点。

3) 铅模式年龄计算结果, 多数样品年龄为 200 Ma ~ 250 Ma, 等时线年龄 222 Ma, 为印支期成矿, 少数样品年龄为 127.25 Ma ~ 200 Ma, 为燕山期花岗岩叠加改造成矿。

3.5 Ar - Ar 法和 K - Ar 法测年

采集 Ar - Ar 法和 K - Ar 法测年样品送桂林矿产研究院进行年龄测定, 其结果是 Ar - Ar 法年龄谱、等时线年龄和 K - Ar 的模式年龄大体一致, 系列 年龄 (95.93 ± 5.41) Ma ~ (158.97 ± 15.41) Ma (图 4); 系列 年龄 ($189.6 \sim 205.11$) ± 4.38 Ma (图 5); 系列 年龄 (82.27 ± 2.07) Ma ~ (85.22 ± 2.38) Ma (图 6)。

年龄偏低是由于该系列矿床靠近花岗岩体接触带, 受燕山晚期花岗岩侵入作用的影响, 引起了氩的丢失的结果^[11~15]。

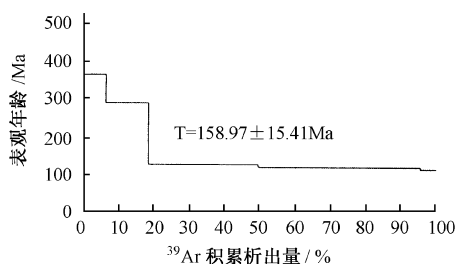


图 4 玄武岩中条带状硫化矿石中石英 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图

Fig. 4 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ age spectrum for quartz of coiled sulfide in basalt

3.6 矿物汽液包裹体特征

采集了各种矿石中石英、方解石、萤石等矿物流体包裹体样共 11 件, 在昆明理工大学进行温度和盐度测定 (见表 6)。矿床流体包裹体类型较为单一, 以液体、纯液体包裹体为主, 含少量量子矿物多相包裹体, 均属原生包裹体, 量多个小, 多数小于 $6 \mu\text{m}$, 大于 $15 \mu\text{m}$ 的相当少, 形态以不规则状、

浑圆形、圆形为主。温度和盐度测定结果表明, 系列 均一温度 $190 \sim 188$, 平均 235; W (NaCl) 为 5 % ~ 10.6 %, 平均 6.6 %, 具中等温度和盐度特征。系列 均一温度为 $167 \sim 232$, 平均为 200; W (NaCl) 为 2.6 % ~ 5 %, 平均为 3.8 %, 以中偏低温度—低盐度为特征。系列 均一温度 $177 \sim 360$, 平均在 251.1; W (NaCl) 为 4.2 % ~ 9.2 %, 平均为 6.1 %。为中偏高温中等盐度特征。

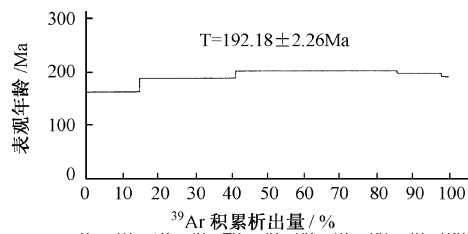


图 5 芦塘坝硫化矿中锡石 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图

Fig. 5 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ age spectrum for cassiterite in Lutangba sulfid

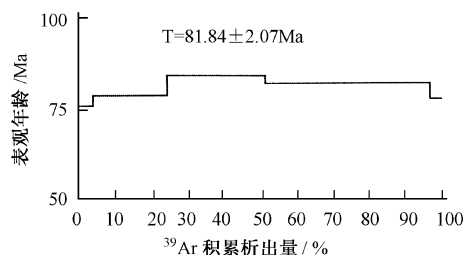


图 6 老厂砂卡岩硫化物中石英 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 年龄谱图

Fig. 6 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ age spectrum for quartz of skarn in Laochang

4 成矿作用演化

个旧超大型锡多金属矿床为多来源、多期次成矿模式。成矿作用的时空演化大致是 (图 7):

4.1 海西期

北东向的个旧—罗平—晴隆一带, 受弥勒—师宗、个旧—罗平—晴隆同生深断裂控制, 重力异常呈条带状分布, 为多旋回裂谷作用带。海西、印支期的裂谷作用与哀牢山板块构造带的发展演化有关。海西期由于哀牢山洋盆裂开, 处于坳拉谷环境, 形成了石炭—二叠纪碱性、中酸性双峰式火山岩套。火山岩呈北东向狭长形的带状分布, 厚千

余米，含铜（金锡）背景值高，可能为印支、燕山 期个旧锡多金属矿床的成矿提供了部分物质来源。

表 6 个旧锡矿流体包裹体均一温度及盐度

| Table 6 The average temperature and salinity of hydro-enwrap in Gejiu tin deposits | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|-----------|---------|-------------------------|-------------------|----------|--------------------|----------------------|--|
| 样号 | 取样位置 及地质情况 | 测定 矿物 | 包裹体 类型 | 气相/ % | 包裹体 形状 | 大小/ μm | 测定 次数 | 温度/ | $w(\text{NaCl})$ / % | 备注 |
| LC1 | 老厂 - 118 m 5 号矿体 含锡石硫化物条带矿石 | 石英 | 液体包 裹体 | 10 ~ 20 | 浑圆形、圆形、 | 6 ~ 15 | 15 | 224 ~ 255 (242) | 5.6 ~ 7.5 (7) | 426 (大量爆裂) |
| MI800A | 塘子凹 1800 坑 32 号顺 层条带状硫化矿大理岩 | 方解石 | 液体包 裹体 | 5 ~ 20 | 负晶形、圆形 | 6 ~ 10 | 15 | 167 ~ 221 (191) | 3.5 ~ 4.9 (4.2) | |
| LC04 | 老厂 - 118 m 5 号矿体 504 块细条带状萤石化 硫化矿 | 石英 | 液体包 裹体 | 5 ~ 15 | 圆形、椭圆形 | 6 ~ 8 | 10 | 190 ~ 238 209 | 3.8 ~ 5 (4) | |
| Z23 | 老厂 - 118 m 5 号矿体 具条纹、包卷构造铜矿 石 | 萤石 | 液体包 裹体 | 10 ~ 20 | 负晶形、浑圆形、 圆形、不规则状 | 6 ~ 10 | 12 | 216 ~ 249 (228) | 2.5 ~ 4 (3) | |
| LC12 | 老厂 - 100 m 5 号矿体 (7 - 47171 点) 条带状 阳起石砂卡岩 | 石英 | 液体包 裹体 | 15 ~ 40 | 圆形、浑圆形、 不规则状 | 6 ~ 12 | 11 | 215 ~ 278 (240) | 8.1 ~ 10.6 9 | |
| | | 萤石 | 液体包 裹体 | 5 ~ 15 | 负晶形、长条状、 圆形、不规则状 | 6 ~ 8 | 10 | 136 ~ 170 (158) | 3.3 ~ 5.2 (4) | |
| Z17 | 竹叶山 1 758 13 - 2 号 矿体层纹状蚀变火山岩 型硫化矿 | 萤石 | 液体包 裹体 | 10 ~ 20 | 圆形、浑圆形、 不规则状 | 8 ~ 10 | 10 | 209 ~ 267 (239) | 7.3 ~ 8.6 (8) | 370 (大量爆裂) |
| L14 | 老厂 - 100 m 3 - 1 - 1 号矿体硫化物条带状含 白云石大理岩 | 白云石 | 液体包 裹体 | 10 ~ 30 | 负晶形、长条状、 圆形 | 8 ~ 40 | 15 | 221 ~ 288 (246) | 5 ~ 7.6 (6) | |
| Z30 | 老厂 - 98 m 3 - 1 - 1 号矿体 N3 块浸染状毒 砂黄铜矿 PbZn 矿 | 石英 | 液体包 裹体 | 10 ~ 25 | 不规则状、圆形、 棱角状 | 6 ~ 10 | 15 | 208 ~ 245 (221) | 3.8 ~ 6.2 (5) | |
| B7 - 2 | 芦塘坝 1720 中段 10 - 14 号矿体硫化矿 | 萤石 | 液体包 裹体 | 10 ~ 15 | 浑圆形、圆形、 长条状、不规则 状 | 6 ~ 8 | 10 | 180 ~ 223 (197) | 2.6 ~ 4.2 (3) | |
| LC9 | 老厂 - 100 m 3 - 1 - 1 号矿体条带状含电气 石、锡石化花岗岩 | 萤石 | 液体包 裹体 | 10 ~ 20 | 不规则状、圆形 | 10 ~ 30 | 17 | 185 ~ 213 (196) | 1.4 ~ 3.1 (2) | 331 有部 分包裹体爆 裂，初熔温 度为 - 20.3 |
| | | | 气体包 裹体 | 60 ~ 80 | 负晶形、浑圆形、 不规则状 | 10 ~ 35 | 15 | 261 ~ 331 (292) | 6.2 ~ 8 (7) | |
| 龙 6 - 2 | 龙树脚 1520 中段 11 - 1 号矿体碳酸盐型石英 硫化矿 | 石英 | 液体包 裹体 | 10 ~ 20 | 负晶形、浑圆形 | 8 ~ 10 | 13 | 189 ~ 232 (213) | 3.1 ~ 5 (4) | |

4.2 印支中早期

伴随哀牢山洋盆封闭隆起，个旧—罗平—晴隆一带再度裂隙，下、中三叠统陆源碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩夹碱性火山岩建造厚 2 000 ~ 5 400 m，也呈北东向狭长形的带状分布。伴随个旧矿区内中三叠世碱性基性火山作用，形成了系列层状、似层状整合型铜（锡、铅、锌）矿体和矿源层。

4.3 印支中期

在大规模的火山喷发活动之后，间断地发生了多次火山喷流成矿作用。来自岩浆房的气液本身就携带有丰富的成矿物质，加之热系统驱动产生的对流循环作用，萃取了下伏基底地层和火山—沉积岩系中的成矿物质，形成的成矿热液沿断裂上升，到达海底发生了喷流热水沉积成矿作用，在火山岩系

上覆地层中形成了系列 似层状、透镜状整合型矿体和矿源层。

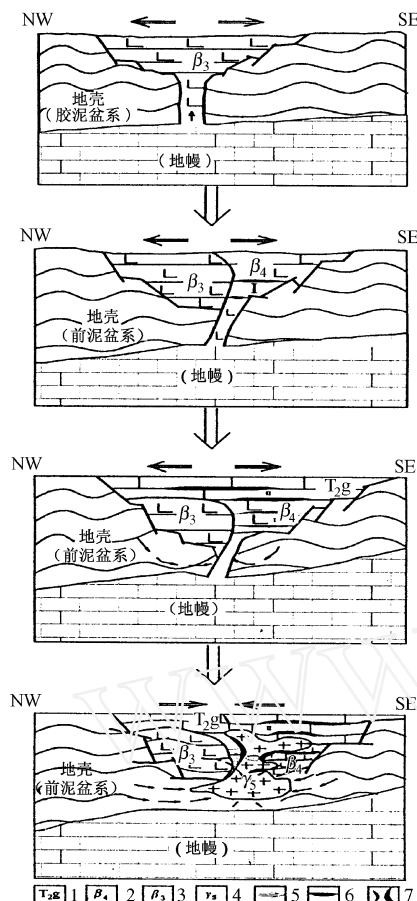


图7 个旧锡矿成矿模式示意图

Fig. 7 Sketch map of mineralization model in Gejiu tin deposits

- 1—个旧组碳酸盐岩；2—个旧组基性火山岩；3—石炭—二叠纪基性火山岩；4—花岗岩；5—构造应力方向；6—层状矿体；7—接触带不规则矿体

4.4 燕山晚期

燕山中晚期强烈的构造运动，伴随大规模的花岗岩体侵入。花岗岩岩浆不仅本身为成矿带来了部分成矿物质，更重要的是花岗岩作用的巨大动力和热力对前期层状、似层状矿体或矿源层进行了改造。花岗岩体上侵包裹同化了部分碱性基性火山岩及其中的矿体和矿源层，萃取了其中的成矿物质，加之花岗岩本身带来的成矿物质，形成了叠加成矿热液，在花岗岩体与碳酸盐岩接触带形成了不规则状、透镜状砂卡岩型硫化矿体，在上覆地层断裂中形成了大脉状及网脉状矿体，即为成矿系列。

5 结论

个旧超大型锡多金属矿床的成矿模式大致可概括为“裂谷环境—火山沉积—喷流热水沉积—花岗岩叠加改造”。在空间上三个成矿系列构成了“两楼一梯”结构，即系列 矿床为“下层楼”，系列 矿床为“上层楼”，系列 矿床构成了“一梯”。在时间上三个成矿系列依次先后形成。

参考文献

- [1] 邓玉书. 云南个旧锡矿和构造的关系[J]. 地质论评, 1951, 16(2): 57~66
- [2] 汪自芬. 关于个旧锡矿成矿的几个问题[J]. 地质学报, 1983, 57(2): 154~163
- [3] 彭程电. 试论个旧锡矿成矿条件及矿床类型、模式[J]. 云南地质, 1985, 4(1): 154~163
- [4] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡多金属矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1996. 108~124
- [5] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 572~583
- [6] Wu Qinsheng. A study of Sr, Pb isotopes and geochemical characteristics of REE in Sr-bearing granites of Gejiu[A]. International Symposium on Tin Deposits[C]. Beijing, China, 1984. 88~89
- [7] 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含 Sn 花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究[J]. 地球化学, 1984, (4): 293~302
- [8] 秦德先, 薛传东. 个旧锡矿矿床成因与找矿思路的新发现[J]. 昆明理工大学学报, 2002, 26(6): 38
- [9] 秦德先, 谈树成, 范柱国, 等. 个旧—大厂地区地质构造演化及锡多金属成矿[J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 117~123
- [10] 赵伦山, 张本仁. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1988. 177~188
- [11] Lund K, Aleinikov J, Kunk M, et al. Shrimp U-Pb And $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints for the relating Plutonism and mineralization in the boulder batholith region, Montana[J]. Economic Geology, 2002, 97(2): 241~267
- [12] Brown S M, Fletcher I R, Stein H J, et al. Geochronological constraints on pre-, syn- and postmineralization events at the world-class cleo gold deposit, Eastern Goldfield Province, Western Australia[J]. Economic Geology, 2002, 97(3): 541~559
- [13] 潘成荣, 岳书仓. 河南老湾金矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年及铅同位素研究[J]. 合肥工业大学学报, 2002, 25(1): 9~13

- [14] Kontak D J , Archibald K A. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hydrothermal biotite from high-grade gold ore , tangier gold deposit , Nova Scotia: Further evidence for 370 Ma gold metallogeny in the meguma tewanace [J]. *Economic Geology* , 2002 , 97 (3) : 619 ~ 628
- [15] Yasushi Watanabe. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologic constraints on the timing of massive sulfide and veir type Pb-Zn mineralization in the Western Meseta of Morocco[J]. *Economic Geology* , 2002 , 97 (1) : 45 ~ 157

The Geochemistry and Mineralization Evolvment of Gejiu Tin Ore Deposits

Qin Dexian , Li Yingshu , Fan Zhuguo , Chen Aibing , Tan Shucheng ,
Hong Tuo , Li Lianju , Lin Xiaoping

(*The Geological Institute of Mineral Deposits , Kunming University of
Science and Technology , Kunming 650093 , China*)

[**Abstract**] It had been believed that the genesis of Gejiu tin deposits were granitic mineralization of Yanshanian epoch by most researchers for a long time. However , recently the authors obtain a great deal of information to indicate that the Gejiu tin deposits are occured as mineralization of many time periods and many sources , being divided as three metallogenic series namely the seabed basic volcano- metallogenic series , the seabed exhalative hydrothermal metallogenic series in the Indo-Chinese epoch and the granitic superimposed metallogenic series in the Yanshanian epoch. The metallogenic pattern may be summed up as “ rift setting —the volcano-sedimentary metallogenises —the exhalative hydrothermal sedimentary metallogenises —the granit rebuild superimposed metallogenises ”. The paper demonstrater the metallogenic viewpoint in terms of the trace rare earth element , stable isotopes and fluid inclusion.

[**Key words**] Gejiu tin deposits ; geochemistry ; stable isotopes ; mineralization evolvment

(cont. from p. 29)

Application of Zero Equation Turbulence Model for Numerical Simulation of Air Distribution in Train Compartment

Yang Peizhi¹ , Gu Xiaosong²

(1. *Institute of Refrigeration and Air-Conditioning , Central South University , Changsha 410075 , China ;*

2. *School of Energy Source and Dynamic , Changsha University of Science
and Technology , Changsha 410076 , China*)

[**Abstract**] It will cost much time for numerical simulation of air distribution in train compartment using k - turbulence model , so zero equation turbulence model is used for simulating airflow in train compartment. In this paper , zero equation turbulence model and k - turbulence model were applied for numerical simulation of indoor fluid flow and heat transfer respectively. By comparison , the results come from these two methods are inosculated very well , and the time cost by zero equation turbulence model is very little. So zero equation turbulence model has the merit of simpleness and quickness , it will provide a simple and convenient numerical simulation method for the design of train air-conditioning system.

[**Key words**] air-conditioning ; zero equation turbulence model ; numerical simulation ; train