第 27 卷第 3 期 中国有色金属学报 2017 年 3 月
Volume 27 Number 3 The Chinese Journal of Nonferrous Metals March 2017
DOI：10.19476/j.ysxb.1004.0609.2017.03.015

# 浙江罗山金银矿床构造叠加晕特征及深部成矿预测

鲁玉龙[1,2]，肖秋越[2]

(1. 中南大学 地球科学与信息物理学院 有色金属成矿预测教育部重点实验室，长沙 410083；
2. 湖南省有色地质勘查局 二总队，湘潭 411102)

**摘 要**：对矿区的控矿断裂构造及其构造叠加晕进行研究，建立构造叠加晕的模型，并对深部进行成矿预测。认为控矿断裂构造形成于燕山期火山活动，容矿构造的优势方位为 NE63°；Ag 与 Au 元素成矿最密切，前缘晕元素为 Hg、Sb、As 和 Ba，近矿晕元素为 Au、Ag、Cu、Pb 和 Zn，尾晕元素为 Co、Ni、Mn、W、Mo 和 Bi；构造叠加晕具明显的反分带特征，尾晕元素 Mn、Bi 出现在上部，前缘晕元素 Hg、Sb、Ba 出现在中部，近矿元素 Zn 和前缘晕元素 As 处于下部，以及地球化学参数的变化，均指示深部有盲矿体的存在；预测结果表明：0 线深部在 250~50 m 标高内出现预测的盲矿体，其中心定位于 200 m 标高左右，倾向延深长度为 100 m 左右。

**关键词**：金银矿床；构造叠加晕；成矿预测
**文章编号**：1004-0609(2017)-03-0563-11 **中图分类号**：P632；P612 **文献标志码**：A

随着地质工作程度的提高，隐伏矿产是现今地质找矿的主要目标。勘查地球化学方法在寻找盲矿、隐伏矿方面，表现出巨大的优势[1]，而构造叠加晕法是其中应用广泛的一种手段[2]。金矿的众多勘查实践表明，研究构造叠加晕的特征是判断剥蚀程度、推测隐伏矿体，及进行找矿预测的有效方法[3−6]。大量实例研究也表明，多数矿床尤其是热液矿床均发育有相关元素的构造叠加晕[7−10]。因此，构造叠加晕测量被认为是寻找隐伏矿床的最有效方法之一[11−12]。

罗山金银矿位于余姚−龙泉成矿带，前人已对该成矿带开展了大量地质工作[12−15]，发现有多处金矿床，如与岩浆活动有关的治岭头大型金矿床和八宝山大型金矿床[13−14]，与变质热液有关的璜山大型金矿床和中岙金矿床[15]。罗山金银矿最早发现于 20 世纪 70 年代，然而经历了近 30 年的开采后，现已经处于危机矿山之列，迫使整个矿山必须在新矿体的寻找上有所突破。该矿山在之前的研究中，几乎没有涉及构造叠加晕方面。因此，本文作者在研究控矿构造特征的基础上，利用构造叠加晕法对其深部进行成矿预测。发现其成矿元素组合特征明显，且构造叠加晕具明显的反分带特征，指示深部有盲矿体的存在。期望通过本次研究，为本区进一步的资源勘查提供科学依据和理论支撑。

## 1 区域地质背景

NE 向余姚−龙泉成矿带西侧以绍兴−江山断裂为界，东侧以余姚−丽水断裂为界[13]，是我国华南重要的贵金属成矿带之一。罗山金银矿区则位于该成矿带中部芙蓉山火山口的南东侧(见图 1 和 2)。中元古界陈蔡群副变质岩组成基底构造层，呈“天窗”式出露于破火山的口的东侧，为区域上金矿的主要赋矿地层。侏罗系和白垩系的火山喷发沉积岩建造为盖层：侏罗系的流纹岩主要分布于破火山口构造的中心地段，外围以沉凝灰岩为主；白垩系的火山沉积岩主要分布于外围侏罗系地层之上。区域上整体为芙蓉山穹隆构造，环火山口的断裂构造及放射状断裂构造构成区域基本构造格架[16]。岩浆岩主要形成于中生代，新生代岩浆活动渐趋平静。印支期的岩浆岩，大多已变质，如大爽岩体已属混合岩类。燕山期形成了大量的中−酸性岩脉，及少量的基性岩脉[16]。区域矿产主要为金(银)，沿芙蓉山火山口的边缘分布。

**基金项目**：中国地调局发展中心老矿山项目(2012-148)
**收稿日期**：2015-09-28；**修订日期**：2016-10-25
**通信作者**：鲁玉龙，博士研究生；电话：15073200633；E-mail：316645465@qq.com

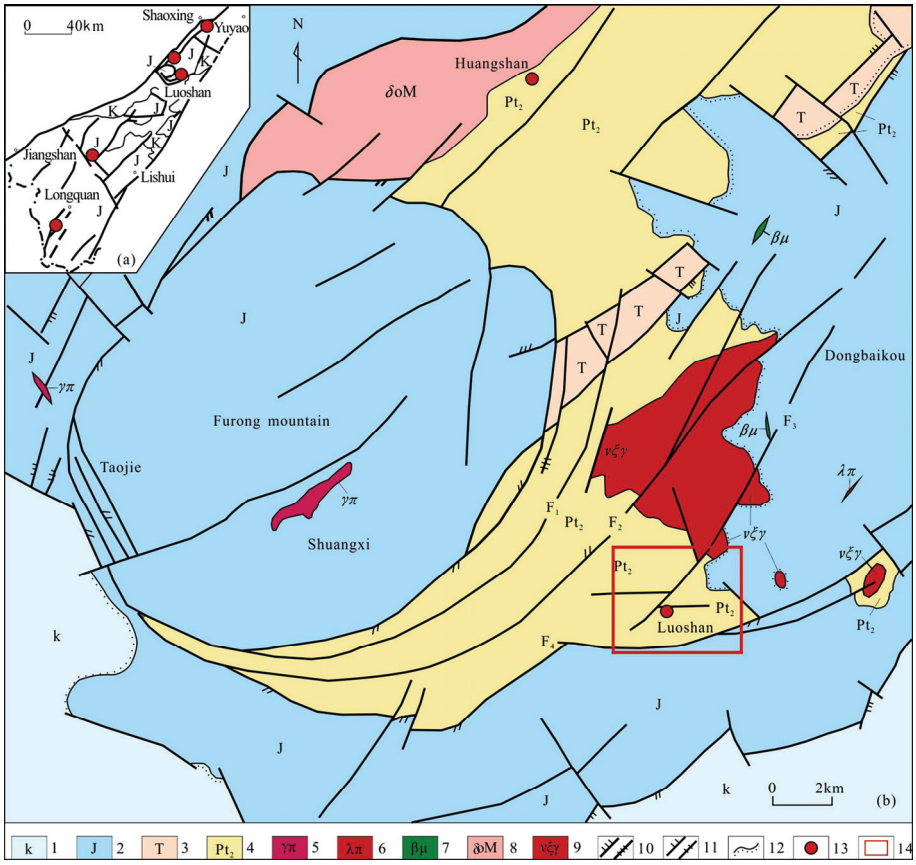



**图 1** 余姚−龙泉地区构造略图[13]和芙蓉山地区构造略图

**Fig. 1** Sketch geologic maps of Yuyao-Longquan district[13] (a) and Furong mountain district (b): 1—Cretaceous; 2—Jurassic; 3—Triassic; 4—Middle Proterozoic; 5—Granite porphyry; 6—Quartz porphyry; 7—Diabase porphyrite; 8—Mixed granite; 9—Mixed quartz diorite; 10—Compression faults; 11—Tensional faults; 12—Unconformity geological boundaries; 13—Gold deposit; 14—Study area

## 2 矿区地质概况

罗山金银矿区位于芙蓉山破火山口的南东侧。矿区出露地层主要为中元古界陈蔡群，以一套副变质岩为主，局部有正变质岩夹层，为主要的赋矿层位。次为晚侏罗系大爽组，为一套山间盆地沉积层，层理构造清楚，不整合地覆盖于陈蔡群变质岩之上；高坞组与下伏大爽组岩层呈整合接触，为一套火山喷出岩建造。

矿区构造发育，褶皱构造主要发育于基底构造层中。断裂构造主要有 NE、NW 向断裂。NE 向断裂，倾向南东，倾角 75°~80°，局部反倾，断裂多期活动明显，是主容矿构造。NW 向断裂，多为张性破矿断裂。

矿区北西侧有大爽岩体出露，原岩为石英闪长岩，现已混合岩化，按照岩石组构，可以分为似斑状混合石英闪长岩、混合石英闪长岩。矿区内酸−中酸性脉岩发育，基性及中性脉岩次之。以空间分布分析，脉岩大多晚于大爽混合岩体，应归属于燕山期岩浆活动的产物。

矿脉受 NE 向断裂控制明显，地表共发现矿脉 30 余条，矿脉间距一般 50~80 m，最大间距达 300 m。单矿体走向长 50~150 m，倾向延伸约 100 m，倾向南东或南南东，倾角一般大于 60°。矿体厚度变化大(0.15~2.2 m)，主要呈薄脉状。矿体的品位变化亦较大，炼仙坞地区以金矿化为主，银矿化相对较弱，金、银矿化相关性差；岭头−南山岭地区以银矿化为主，金、银矿化正相关性较明显。

矿石多为半自形−自形粒状结构、交代残留结构。矿石构造主要有碎裂状、角砾状构造，少量浸染状构造、网脉状构造、条带状构造。矿石矿物以银金矿为主，次为辉银矿，自然金少见。矿脉及两侧呈线状发

育蚀变，主要有硅化、绢云母化、绢英岩化、黄铁矿化，其中硅化、黄铁矿化、绢云母化、绢英岩化与成矿最为密切。

## 3　构造叠加晕特征

### 3.1　样品采集及测试分析

为了研究构造叠加晕的分带序列，在 0 号勘探线的不同标高的穿脉坑道内系统采集构造叠加晕样品 125 件，采样位置详见图 3。样品以 2 m 为点距，进行定点采样，每个采样点由 2 m 范围内多点组成，每份样重 500 g。详见李惠等[8–9]提出的构造叠加晕样品的布设原则及特殊的采集方法。

本次样品测试分析由湖南省有色地质勘查研究院测试中心完成。其中 As、Sb、Bi 和 Hg 元素的含量采用氢化物法测定；Ag 元素的含量采用石墨炉原子吸收分光光度计法测定；Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Mn 和 Ba 元素的含量采用 X 射线荧光光谱法测定；Au 元素的含量采用石墨炉原子吸收法测定；W 和 Mo 元素的含量采用 ICP 直读光谱法测定。

### 3.2　元素组合特征

由于本次所取样品有限，且取自矿体周围，属异常地段，不可能服从正态分布，因此，背景值通过计算样品含量的众值确定。以背景值的 2、8、32 倍作为 Au、Ag、Hg 和 Sb 元素的外、中、内带的下限值(其他元素采用背景值的 2、4、8 倍)，进而圈定元素异常图[8]。从图 4 可以看出，成矿元素 Ag 与 Au 的异常主要位于 345 m 以上的中段；Hg、As 和 Sb 元素异常的套合性好，内带异常主要位于 455 m 和 345 m 中段；Pb、Zn 和 Cu 元素异常的套合性较好，内带异常主要位于 370 m 中段；W 与 Mo 元素异常套合性好，中带异常位于 345 m 以下的中段。值得注意的是，特征前缘晕元素 As 和 Sb[8–9]在 310 m 中段均存在内带强异；特征近矿晕元素 Zn[8–9]在 455 m 中段存在内带强异常。

另外，从元素相关系数可以看出(见表 1)，Ag 元素与 Au 成矿关系最为密切，其次为 Cu、Pb、Zn 和 Sb 元素。通过 R 型聚类分析可以看出(见图 5)，该区成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb 和 Zn 组合最为明显；另

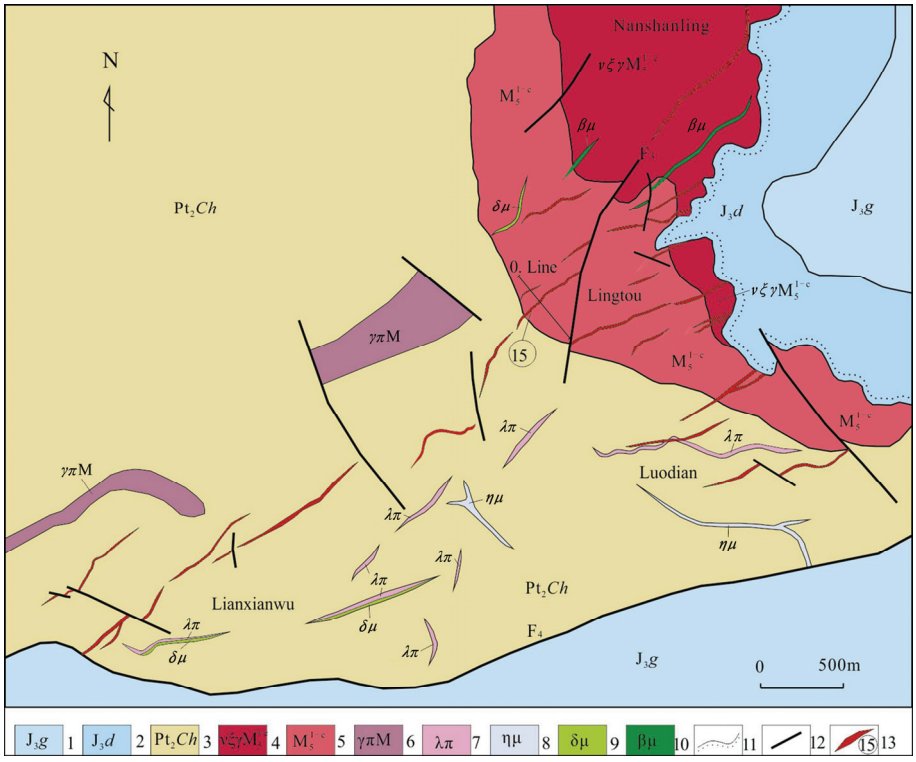



**图 2**　罗山金银矿床地质略图

**Fig. 2**　Sketch geological map of Luoshan Au-Ag deposit: 1—Gaowu group of upper Jurassic; 2—Dashuang group of upper Jurassic; 3—Chencai group of Middle Proterozoic; 4—Porphyritic mixed quartz diorite; 5—Mixed quartz diorite; 6—Subvolcanics; 7—Quartz porphyry; 8—Amphiboles quartz monzonite porphyry; 9—Diorite porphyrite; 10—Diabase porphyrite; 11—Unconformity geological boundaries; 12—Faults; 13—Gold lode and number

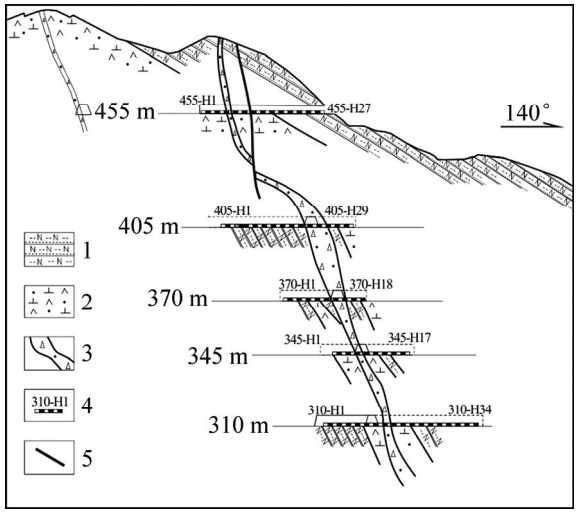



**图 3** 罗山金银矿构造叠加晕采样位置示意图

**Fig. 3** Sketch map of sampling position of structure superimposed halo in Luoshan Au-Ag deposit: 1—Biotite plagioclase gneiss; 2—Mixed quartz diorite; 3—Fractured zone; 4—Sampling position and number; 5—Faults

外，Hg、Sb 和 As 元素，Co、Ni 和 Mn 元素，Bi、Mo 和 W 元素的组合特征也较明显。因此，根据 R 型聚类分析的结果和构造叠加晕的异常特征，结合我国典型金矿床元素的组合规律[8−9]，认为罗山金银矿床的前缘晕元素为 Hg、Sb、As 和 Ba，近矿晕元素为 Au、Ag、Cu、Pb 和 Zn，尾晕元素为 Co、Ni、Mn、W、Mo 和 Bi。

### 3.3 构造叠加晕的轴向分带特征

根据 C·B 格里戈良分带指数法的基本原理，并依据王建新等[17]提出的改进方法进行计算矿床构造叠加晕的轴向分带序列。

首先，统计工作区测试元素的异常下限、各元素线金属量值，通过式(1)得到正规化的线金属量 $C_{ij}^{*}$，结果见表 2。

$$C_{ij}^{*}=\frac{C_{ij}-\underset{1\leqslant i\leqslant n}{\mathrm{Min}}\,C_{ij}}{\underset{1\leqslant i\leqslant n}{\mathrm{Max}}\,C_{ij}-\underset{1\leqslant i\leqslant n}{\mathrm{Min}}\,C_{ij}} \tag{1}$$

式中：$C_{ij}^{*}$为正规化的线金属量；$C_{ij}$为 $i$ 元素在 $j$ 中段

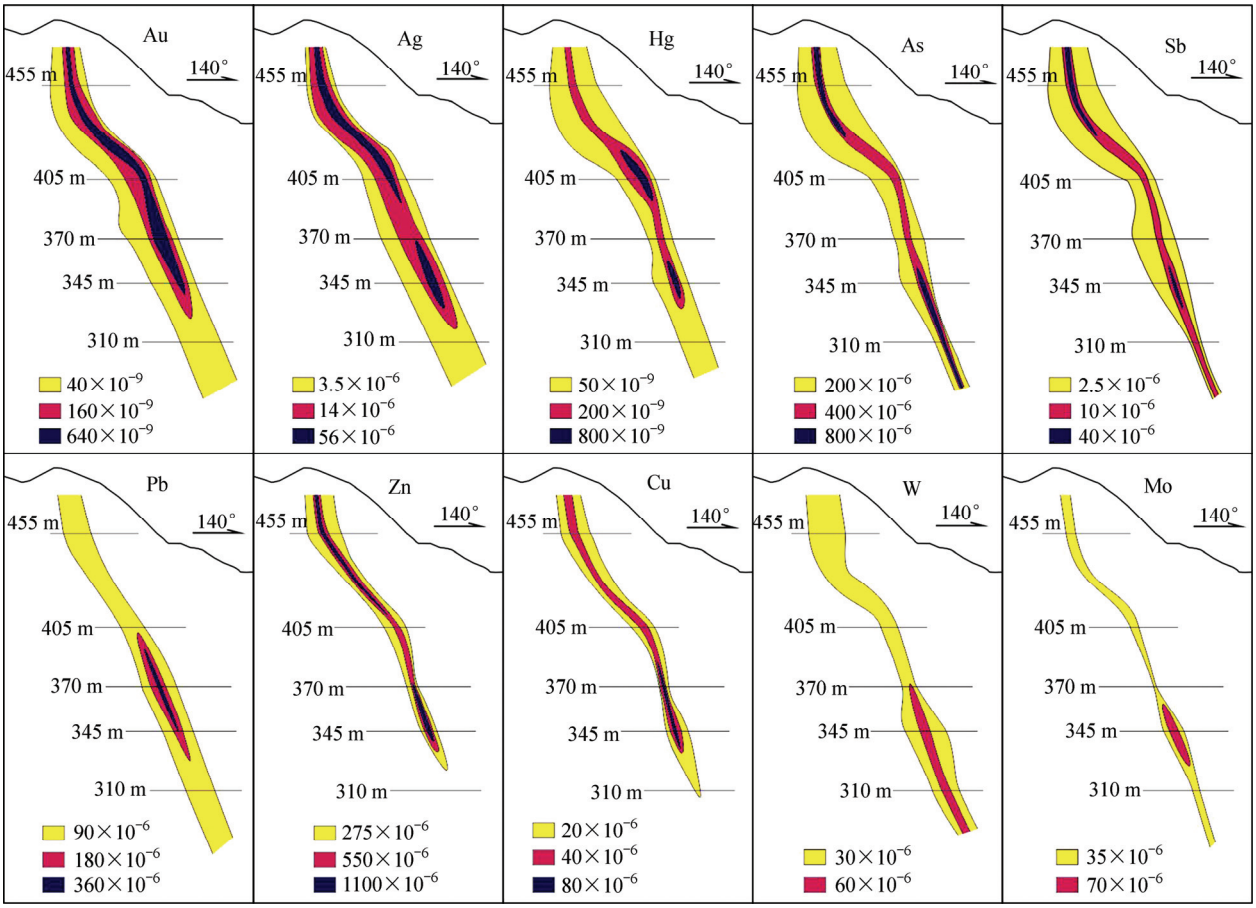



**图 4** 罗山金银矿构造叠加晕元素异常图

**Fig. 4** Elemental anomaly maps of structure superimposed halo in Luoshan Au-Ag deposit

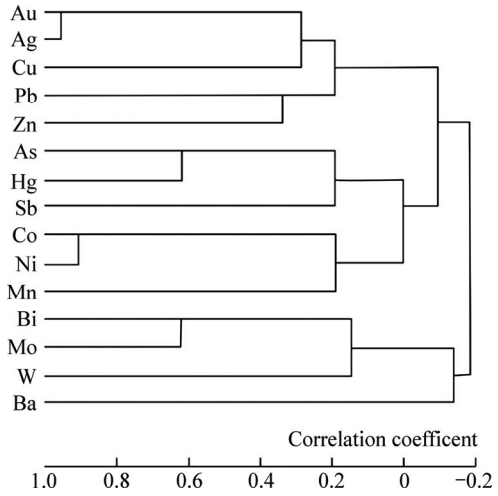



**图 5**　聚类分析谱系图

**Fig. 5**　Hierarchical graph of cluster analysis

的线金属量；$n$ 为中段数。

然后，利用式(2)计算出各元素的分带指数 $D_{ij}^{*}$，结果见表 3。

$$D_{ij}^{*}=\frac{C_{ij}^{*}}{\sum C_{ij}^{*}} \tag{2}$$

式中：$C_{ij}^{*}$为 $j$ 中段中 $i$ 元素的线金属量；$\sum C_{ij}^{*}$为 $j$ 中段所有元素的线金属量之和。

根据各元素分带指数的最大值确定大致的元素分带序列[17]为(Mn、Bi、Ag)-(Sb、Hg)-(Cu、Pb、Ba、Au)-(Zn、As、Mo)-(Co、Ni、W)。

当各元素分带指数最大值出现在最高和最低中段时，通过式(3)计算各元素的变异系数 $G_{ij}^{*}$来判断元素的序列[17]；当各元素分带指数最大值出现在其他中段时，通过式(4)计算各元素的变异系数梯度$\Delta G$ 来确定元素的序列[17]，结果见表 3。

$$G_{ij}^{*}=\sum_{i=1}^{n}\frac{D_{ij}^{*}}{\underset{1\leqslant i\leqslant n}{\mathrm{Max}}\ D_{ij}^{*}} \tag{3}$$

式中：$G_{ij}^{*}$是原格氏法中 $G_{ij}$ 的倒数，其值越小，在最高中段时，表示越向浅部富集，在最低中段时反之。

$$\Delta G=G_{\mathrm{u}}-G_{\mathrm{a}} \tag{4}$$

式中：$G_{\mathrm{u}}$为各元素分带指数最大值所处中段下部的变异性指数值之和；$G_{\mathrm{a}}$为各元素分带指数最大值之和。

$\Delta G$ 越小则元素序列越靠上部的原理[17]，完整的元素分带序列为(自上而下)：Ag-Mn-Bi-Hg-Sb-Ba-Cu-Au-Pb-Mo-As-Zn-W-Co-Ni。

**表 1**　各元素相关系数表

**Table 1**　Correlation coefficient between different elements

| Element | Correlation coefficient | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Au | Ag | Cu | Pb | Zn | Co | Ni | Mn | Ba | As | Sb | Bi | Hg | W | Mo |
| Au | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ag | 0.86 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | 0.33 | 0.35 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| Pb | 0.38 | 0.33 | 0.28 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| Zn | 0.19 | 0.22 | 0.29 | 0.40 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| Co | −0.19 | −0.15 | 0.35 | 0.01 | 0.09 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Ni | −0.17 | −0.12 | 0.30 | −0.10 | −0.01 | 0.79 | 1.00 | | | | | | | | |
| Mn | 0.24 | 0.22 | 0.23 | −0.04 | 0.10 | 0.26 | 0.30 | 1.00 | | | | | | | |
| Ba | −0.08 | 0.03 | −0.01 | −0.12 | −0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.01 | 1.00 | | | | | | |
| As | −0.06 | −0.07 | 0.10 | 0.11 | 0.31 | 0.42 | 0.20 | −0.05 | −0.05 | 1.00 | | | | | |
| Sb | 0.19 | 0.39 | 0.27 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.10 | 0.11 | 0.05 | 0.35 | 1.00 | | | | |
| Bi | −0.06 | −0.07 | −0.01 | 0.06 | −0.06 | 0.13 | 0.15 | 0.04 | 0.12 | −0.04 | −0.03 | 1.00 | | | |
| Hg | −0.04 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 0.16 | 0.23 | 0.09 | −0.05 | 0.01 | 0.59 | 0.24 | 0.01 | 1.00 | | |
| W | −0.18 | −0.17 | −0.04 | −0.11 | −0.06 | 0.22 | 0.16 | −0.08 | −0.03 | −0.03 | −0.13 | 0.17 | −0.05 | 1.00 | |
| Mo | −0.15 | −0.14 | −0.06 | −0.06 | −0.11 | 0.15 | 0.21 | −0.01 | 0.00 | −0.02 | −0.04 | 0.58 | 0.11 | 0.34 | 1.00 |

**表 2** 各元素线金属量处理结果表

**Table 2** Normalized values for linear metal contents of different elements

| Element | 455 m | | 405 m | | 370 m | | 345 m | | 310 m | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_{ij}$ | $C_{ij}^*$ | $C_{ij}$ | $C_{ij}^*$ | $C_{ij}$ | $C_{ij}^*$ | $C_{ij}$ | $C_{ij}^*$ | $C_{ij}$ | $C_{ij}^*$ |
| Au | 8711.01 | 0.4894 | 1689.76 | 0.0783 | 17429.80 | 1.0000 | 12493.66 | 0.7110 | 352.56 | 0.0000 |
| Cu | 577.85 | 0.4443 | 385.90 | 0.2709 | 662.80 | 0.5210 | 1193.20 | 1.0000 | 85.95 | 0.0000 |
| Pb | 1628.48 | 0.1468 | 309.16 | 0.0000 | 9293.94 | 1.0000 | 7993.12 | 0.8552 | 418.16 | 0.0121 |
| Zn | 10155.94 | 0.3961 | 5888.79 | 0.2297 | 9667.52 | 0.3770 | 25641.66 | 1.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| Co | 125.08 | 0.3048 | 189.62 | 0.7623 | 82.08 | 0.0000 | 223.17 | 1.0000 | 172.62 | 0.6418 |
| Ni | 211.35 | 0.1304 | 267.28 | 0.1802 | 64.93 | 0.0000 | 1187.91 | 1.0000 | 697.71 | 0.5635 |
| Mn | 40486.93 | 1.0000 | 19077.43 | 0.3690 | 10781.79 | 0.1246 | 15597.72 | 0.2665 | 6555.29 | 0.0000 |
| Ba | 7223.58 | 0.8544 | 2600.88 | 0.3076 | 7306.58 | 0.8642 | 8454.65 | 1.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| As | 5236.62 | 0.0557 | 6058.92 | 0.1009 | 8086.69 | 0.2125 | 22403.95 | 1.0000 | 4223.99 | 0.0000 |
| Sb | 126.78 | 0.0000 | 291.09 | 0.7998 | 259.41 | 0.6456 | 332.23 | 1.0000 | 157.85 | 0.1512 |
| Bi | 22.60 | 0.6158 | 3.98 | 0.1085 | 0.00 | 0.0000 | 36.70 | 1.0000 | 1.13 | 0.0308 |
| Hg | 1810.45 | 0.0775 | 13011.43 | 1.0000 | 3387.93 | 0.2074 | 8336.52 | 0.6150 | 869.70 | 0.0000 |
| Ag | 3525.29 | 1.0000 | 495.50 | 0.1406 | 129.94 | 0.0369 | 3470.41 | 0.9844 | 0.00 | 0.0000 |
| Mo | 586.01 | 0.3114 | 251.33 | 0.1335 | 0.00 | 0.0000 | 1882.12 | 1.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| W | 282.71 | 0.1593 | 0.00 | 0.0000 | 169.20 | 0.0954 | 1774.21 | 1.0000 | 393.76 | 0.2219 |

**表 3** 0 线构造构造叠加晕分带指数和变异系数

**Table 3** Zoning index and variability index of zero line structure superimposed halo

| Element | 455 m | | 405 m | | 370 m | | 345 m | | 310 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $D_{ij}^*$ | $G_{ij}^*$ | $D_{ij}^*$ | $\Delta G$ | $D_{ij}^*$ | $\Delta G$ | $D_{ij}^*$ | $\Delta G$ | $D_{ij}^*$ | $G_{ij}^*$ |
| Au | 0.0818 | | 0.0175 | | 0.1967 | −0.2355 | 0.0529 | | 0.0000 | |
| Cu | 0.0742 | | 0.0605 | | 0.1025 | −0.5877 | 0.0744 | | 0.0000 | |
| Pb | 0.0245 | | 0.0000 | | 0.1967 | 0.2370 | 0.0637 | | 0.0075 | |
| Zn | 0.0662 | | 0.0512 | | 0.0742 | | 0.0744 | −2.5732 | 0.0000 | |
| Co | 0.0509 | | 0.1701 | | 0.0000 | | 0.0744 | | 0.3958 | 0.7465 |
| Ni | 0.0218 | | 0.0402 | | 0.0000 | | 0.0744 | | 0.3475 | 0.3926 |
| Mn | 0.1671 | 0.7583 | 0.0824 | | 0.0245 | | 0.0198 | | 0.0000 | |
| Ba | 0.1427 | | 0.0686 | | 0.1700 | −0.8056 | 0.0744 | | 0.0000 | |
| As | 0.0093 | | 0.0225 | | 0.0418 | | 0.0744 | −0.9888 | 0.0000 | |
| Sb | 0.0000 | | 0.1785 | 1.6512 | 0.1270 | | 0.0744 | | 0.0933 | |
| Bi | 0.1029 | 1.1436 | 0.0242 | | 0.0000 | | 0.0744 | | 0.0190 | |
| Hg | 0.0129 | | 0.2232 | 0.3300 | 0.0408 | | 0.0458 | | 0.0000 | |
| Ag | 0.1671 | 0.6698 | 0.0314 | | 0.0072 | | 0.0733 | | 0.0000 | |
| Mo | 0.0520 | | 0.0298 | | 0.0000 | | 0.0744 | −1.0989 | 0.0000 | |
| W | 0.0266 | | 0.0000 | | 0.0188 | | 0.0744 | | 0.1369 | 0.8754 |

# 4 讨论

## 4.1 控矿构造形成的动力学背景

在原始华夏板块与扬子板块发生洋壳的俯冲和消减之后，至中生代，华南乃至整个东亚大陆大地构造开始发生剧烈变动，也是东亚大地构造发展的重要转折时期[25−28]。

对于印支期运动，部分学者认为印支地块向北挤压，与华南地块发生碰撞，是导致华南地块内部的造

山运动及大规模的岩浆活动的原因[29−35]。但该期构造变形以 NE-NNE 向的褶皱及逆冲推覆构造为主，单纯印支地块引起的南北向的挤压应力很难解释这些构造的形成。因此，一些学者提出这些构造的形成应与同期东部太平洋板块的俯冲有着密切的关系[36−39]。余姚−龙泉隆起带是该期构造运动的结果[40−41]，区内的大爽岩体为该期构造运动的产物[23]。

燕山期，太平洋板块向华南地块继续俯冲引发华南地块内部的造山运动，使印支期形成的构造活化，并叠加变形，同时，诱发了岩浆活动[36, 40]。区内的侏罗世−白垩世火山沉积岩为该期构造运动反应，其属燕山期的产物，可进一步划分为两个亚旋回和 4 个喷发阶段[16]。伴随火山活动在火山口附近形成环状断裂构造，并诱发了大规模的金属成矿作用。

所以，本文作者认为本区控矿构造形成于燕山期太平洋板块向华南地块俯冲的动力学背景，为芙蓉山火山活动的结果。

### 4.2　控矿构造的组合型式

芙蓉山火山活动，在火山口周边形成了一系列断裂构造，如区域上的 $F_1$、$F_2$、$F_3$、$F_4$ 等断裂，区域上呈环状(见图 1)，其中 $F_3$ 和 $F_4$ 断裂贯穿本区。

$F_3$ 走向 30°~40°，倾向南东，倾角 74°~80°，宽 1~5 m 不等，断裂带内发育构造角砾岩，角砾大小不等，胶结较松散，具张扭特征。$F_4$ 走向呈近东西，倾向南，倾角 36°~86°，宽 1~30 m 不等。罗店一带断裂上盘为火山岩，下盘为变质岩，上盘下落，表现为张扭性。本区受芙蓉山火山多期次活动的影响，$F_3$、$F_4$ 断裂亦多期活动的特点。另外，在 $F_3$ 上、下盘均发育一组 NEE 向的次级断裂，宽 0.5~3.25 m，走向 65°~75°，倾向南东，局部反倾，倾角 70°~85°，是金银矿体的容矿构造。

控矿构造整体走向为 NE 走向，自南西向北东散开，呈现出“帚状”的特点(见图 2)。在剖面上控矿断裂主要为向南东倾，向深部倾角略有变缓。控矿构造在走向上和倾向上均有膨大缩小的现象，走向上膨大中心的间距约 300 m，倾向上膨大中心的间距约 200 m。

对矿区容矿断裂的产状特征进行了系统的调查和统计，从图 6 可以看出，含矿断裂的优势走向为 NE63°左右，倾向 SE153°左右，由于倾角较大，局部有反倾现象。通过调查发现，容矿断裂在向东偏转处、出现 NEE 向分支断裂处以及在倾角变大处往往为成矿的有利部位。

### 4.3　深部成矿预测

我国典型金矿床指示元素分带序列为 B-As-Hg-F-Sb-Ba(矿体前缘及上部)→Pb-Ag-Au-Zn-Cu(矿体中部)→W-Bi-Mo-Mn-Ni-Cd-Co-Ti(矿体下部及尾晕)[8−9]。对比分析本区 0 线的元素分带序列，近矿晕元素 Ag 及尾晕元素 Mn 和 Bi 出现在序列上部，而前缘晕元素 Hg、Sb 和 Ba 出现在中部，近矿晕元素 Zn 和前缘晕元素 As 出现在下部，表现出“反分带”的特征，指示存在构造叠加晕，且上、下部均存在前缘晕元素和尾晕元素共存的现象，表明矿体的形成至少存在两次叠加。根据构造叠加晕盲矿预测准则，若轴向分带序列中，典型前缘指示元素出现在序列下部，或者典型尾部指示元素出现在序列上部，表明深部应该存在盲矿体[8−9]。

地球化学参数值可用元素的原始含量的相关比值

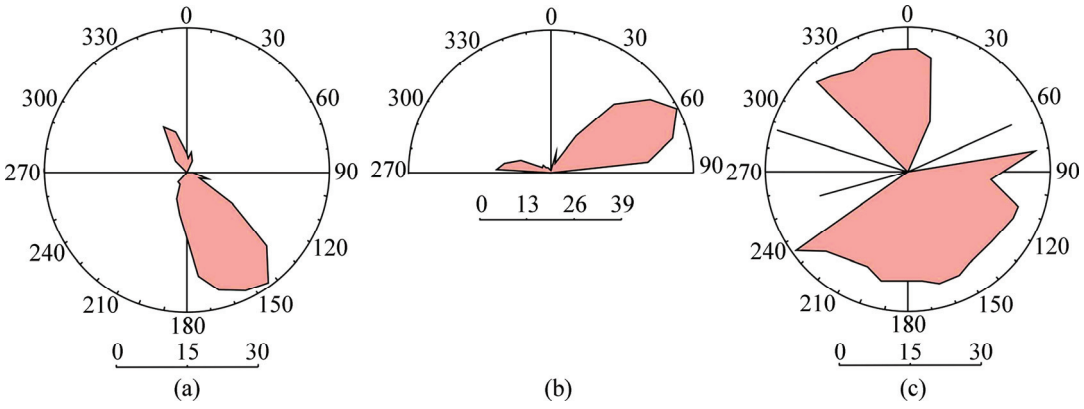



**图 6**　罗山金银矿含矿裂隙玫瑰花图

**Fig. 6**　Rose diagram of ore-bearing fractures in Luoshan deposit: (a) Dip rose diagram of ore-bearing fractures; (b) Strike of ore-bearing fractures; (c) Ip angle of ore-bearing fractures

表示，通常用 $R_i$(其中 $R_1$=$w$(Au)/$w$(Ag)，$R_2$=$w$(As)/$w$(Bi)，$R_3$=$w$(Sb)/$w$(Bi)，$R_4$=[$w$(As)·$w$(Hg)]/[$w$(Au)·$w$(Bi)]，$R_5$=100$w$(Sb)]/[$w$(Bi)·$w$(Mo)])，$R_6$=[$w$(Pb)·$w$(Zn)]/[$w$(Au)·$w$(Mo)])可作为判别矿体发育程度的指标[8]。将 0 线原生晕元素作图(见图 7)，横坐标为对数值。在 455-370 中段矿体规模大、品位高，地球化学参数值较平稳，基本没有较大的波动；345 中段矿体品位较低，地球化学参数值出现明显的波动，大多参数值表现为明显的降低；相比上部中段，310 中段金银矿化的强度最低，但地球化学参数值较高，波动最为强烈。整体上其地球化学参数值从浅部到深部，具有“低→高→低→高”的变化(见图 7)。在 345-310 中段地球化学参数值波动最为强烈，亦指示深部有盲矿体发育[6]。

在 345-310 中段，前缘晕元素 Hg、Sb 和 As 及近矿晕元素 Zn 的异常强度较高，指示盲矿体头较深，可能在 100~200 m[9]；根据 15 号脉容矿构造膨大缩小的规律，推测在 200 m 标高可能出现膨大的部位；通过上部已知单矿体的规模，推测深部的盲矿体倾向延深长度 100 m 左右。因此，深部盲矿体应该定位于 250~50 m 标高范围内，其构造叠加晕轴向分带及深部成矿预测模式见图 8。通过地表钻孔 ZK004 的揭露，在 260 m 标高处见到了低品位金矿体(Au：$1.12\times10^{-6}$)，指示深部盲矿体确实存在。

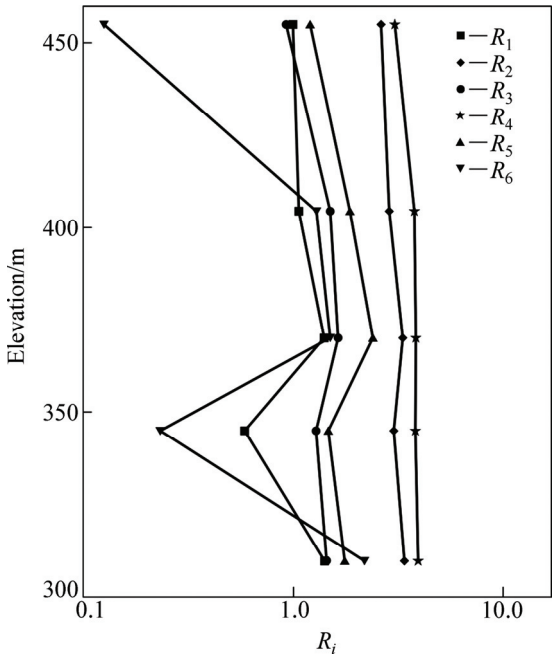



**图 7** 地球化学参数轴向变化图

**Fig. 7** Diagram of vertical variations of different geochemical parameters

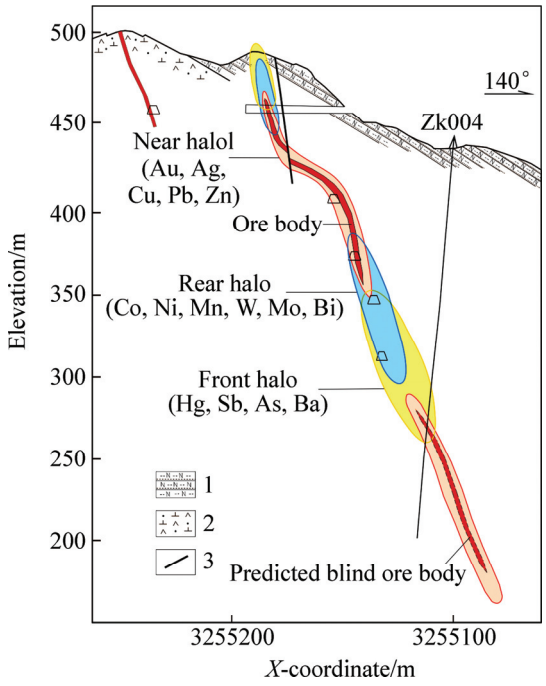



**图 8** 0 线构造叠加晕轴向分带及深部成矿预测模式图

**Fig. 8** Structural superimposed halo's axial zonation and deep prediction mode of zero line: 1—Biotite plagioclase gneiss; 2—Mixed quartz diorite; 3—Faults

## 5 结论

1) 本区的控矿断裂构造形成于燕山期芙蓉山火山活动，整体呈“帚状”，其优势方位为 NE63°；在容矿构造向东偏转处出现 NEE 向分支断裂处，倾角变陡处为成矿的有利部位。

2) Ag 元素与 Au 元素成矿关系最为密切，前缘晕元素为 Hg、Sb、As、Ba，近矿晕元素为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn，尾晕元素为 Co、Ni、Mn、W、Mo、Bi。

3) 0 线构造叠加晕轴向分带序列为(从上至下) Ag-Mn-Bi-Hg-Sb-Ba-Cu-Au-Pb-Mo-As-Zn-W-Co-Ni，存在明显的叠加晕，且球化学参数值做“低→高→低→高”的变化，在 310 中段地球化学参数值波动最为剧烈。

4) 0 线深部预测的盲矿体定位于 250~50 m 标高范围内，预测矿体的倾向延深长度为 100 m 左右，盲矿体中心定位于 200 m 标高左右。

## REFERENCES

[1] 卿诚实. 甘肃玛曲大水金矿原生晕特征及深部找矿预测[D].

成都: 成都理工大学, 2012: 1−60.
QING Cheng-shi. The primary halo characteristics and deep prospecting of Dashui Gold Deposit in Maqu, Gansu Province, China[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012: 1−60.

[2] 邵　跃, 傅学信. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1−145.
SHAO Yue, FU Xue-xin. Lithogeochemical survey (primary halos) prospecting for hydrothermal deposits[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1997: 1−145.

[3] 蒋敬业. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006: 1−340.
JIANG Jing-ye. Applied geochemistry[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2006: 1−340.

[4] 代西武, 杨建民, 张成玉, 于跃军, 徐　珏, 王风海, 丘志刚. 利用矿床原生晕进行深部隐伏矿体预测: 以山东埠上金矿为例[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 245−256.
DAI Xi-wu, YANG Jian-min, ZHANG Cheng-yu, YU Yue-jun, XU Jue, WANG Feng-hai, QIU Zhi-gang. The application of primary halos of the ore deposit to the prognosis of deep concealed ore bodies—Exemplified by the Bushang gold deposit in Shandong province[J]. Mineral Deposits, 2000, 19(3): 245−256.

[5] 程金柱, 孙信诚. 利用原生晕找盲矿的研究[J]. 物探与化探, 1988, 12(6): 460−467.
CHENG Jin-zhu, SUN Xin-cheng. The prospecting for blind orebodies by means of primary halos[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1988, 12(6): 460−467.

[6] 李　惠, 张文华, 刘宝林. 中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则[J]. 地质与勘探, 1999, 35(1): 32−35.
LI Hui, ZHANG Wen-hua, LIU Bao-lin. The study on axial zonality sequence of primary halo and some criteria for the application of this sequence for major types of gold deposits in China[J]. Geology and Prospecting, 1999, 35(1): 32−35.

[7] 成杭新, 赵传冬, 庄广民, 刘应汉, 聂海峰, 其　鲁. 四川大岩子铂一钯矿床的原生地球化学异常特征及盲矿预测[J]. 地质与勘探, 2007, 43(4): 56−60.
CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, ZHUANG Guang-min, LIU Ying-han, NIE Hai-feng, QI Lu. Primary geochemical anomaly and blind ore prospecting in the Dayanzi Pt-Pd deposit, Sichuan province[J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(4): 56−60.

[8] 李　惠, 张国义, 禹　斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型找矿效果[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 30.
LI Hui, ZHANG Guo-yi, YU Bin. The prospecting effect of the structural superimposed halo model for the deep blind ore prediction in gold mine[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 30.

[9] 李　惠, 禹　斌, 李德亮. 构造叠加晕找盲矿法及找矿效果[M]. 北京: 地质出版社, 2011: 12−30.
LI Hui, YU Bin, LI De-liang. The structural superimposed halos for blind ore method and prospecting effect[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 12−30.

[10] 陈玉明. 国外原生晕法找盲矿的进展[J]. 国外地质勘探技术, 1992(1): 32−40.
CHEN Yu-ming. The research advance of primary halo method for blind ore in foreign countries[J]. Foreign Geoexploration Technology, 1992(1): 32−40.

[11] 卢　耀. 个旧西区陡岩锡矿原生晕特征[J]. 云南地质, 2007, 26(1): 62−70.
LU Yao. Characteristics of original halo of Douyan Sn deposit in west region of Gejiu[J]. Yunnan Geology, 2007, 26(1): 62−72.

[12] LEVINSON A A. Introduction to exploration geochemistry[M]. Wilmette, IL: Applied Publishing House, 1980: 1−924.

[13] 徐步台. 浙江绍兴一龙泉成矿带金矿床稳定同位素地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 1988, 3(4): 53−61.
XU Bu-tai. Stable isotopic geochemistry of gold deposits in the Shaoxing−Longquan ore forming zone, Zhejiang Province[J]. Contributions of Geology and Mineral Resources Research, 1988, 3(4): 53−61.

[14] 邱小平, 华杰雄, 钱建民, 高三华. 浙江省遂昌县治岭头金矿成矿构造特征[M]. 安徽: 合肥工业大学出版社, 2007: 204−209.
QIU Xiao-ping, HUA Jie-xiong, QIAN Jian-min, GAO San-hua. Metallogenic structure characteristics of Zhilingtou gold mine of Suichang County, Zhejiang Province[M]. Anhui: Hefei University of Technology Press, 2007: 204−209.

[15] 王文斌, 周汉民, 侏韶华. 中国东南沿海金、银矿床区域成矿规律[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 1988, 9(4): 97−106.
WANG Wen-bin, ZHOU Han-min, ZHU Shao-hua. The main geological characteristics and genesis of gold and silver deposits in the coastal region of Southeast China[J]. Resources Survey and Environment, 1988, 9(4): 97−106.

[16] 俞云文. 浙江芙蓉山破火山口构造特征及火山一侵入杂岩的成岩物质来源[J]. 地质通报, 1993(1): 35−44.
YU Yun-wen. The features of the mount Furong caldera structure in Zhejiang−Material source of the intrusive complex[J]. Geological Bulletin of China, 1993(1): 35−44.

[17] 王建新, 臧兴运, 郭秀峰, 谢海东, 赵利刚, 孙永杰. 格里戈良分带指数法的改良[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(5): 884−888.
WANG Jian-xin, ZANG Xing-yun, GUO Xiu-feng, XIE Hai-dong, ZHAO Li-gang, SUN Yong-jie. The improved gregorian's zoning index calculating method[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(5): 884−888.

[18] 水　涛. 华夏碰撞造山带[J]. 浙江地质, 1995, 11(2): 25−31.
SHUI Tao. Cathaysis collision orogenic zone[J]. Geology of Zhejiang, 1995, 11(2): 25−31.

[19] 许效松, 徐 强, 潘桂棠. 中国南大陆演化和全球古地理对比[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 21−68.
XU Xiao-song, XU Qiang, PAN Gui-tang. The paleogeographic evolution of southern mainland in China and the global paleogeographic contrast[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 21−68.

[20] 竺国强, 姜继双, 陈梓军, 周培华. 浙西北江山−绍兴断裂带构造演化特征[J]. 浙江地质, 1997, 13(2): 6−10.
ZHU Guo-qiang, JIANG Ji-shuang, CHEN Zi-jun, ZHOU Pei-hua. Tectonic evolution and deformational features of Jiangshan-Shaoxing fracture zone in northweastern Zhejiang[J]. Geology of Zhejiang, 1997, 13(2): 6−10.

[21] 包超民. 试拟浙江地壳运动简表[J]. 浙江地质, 1995, 11(1): 31−42.
BAO Chao-min. Try to draft a brief table for the crustal movement in Zhejiang[J]. Geology of Zhejiang, 1995, 11(1): 31−42.

[22] 王银喜, 杨杰东, 郭令智, 施央申, 胡雄健, 汪 新. 浙江龙泉早元古代花岗岩的发现及基底时代的讨论[J]. 地质论评, 1992, 38(6): 525−531.
WANG Yin-xi, YANG Jie-dong, GUO Ling-zhi, SHI Yang-shen, HU Xiong-jian, WANG Xin. The discovery of the lower Proterozoic granite in Longquan, Zhejiang province, and the age of the basement[J]. Geological Review, 1992, 38(6): 525−531.

[23] 王一先, 赵振华, 包志伟. 浙江花岗岩类地球化学与地壳演化—Ⅱ.元古宙花岗岩类[J]. 地球化学, 1997, 26(6): 57−68.
WANG Yi-xian, ZHAO Zhen-hua, BAO Zhi-wei. Geochemistry of granite from Zhejiang province and crustal evolution-Ⅱ. Proterozoic granitoids[J]. Geochimica, 1997, 26(6): 57−68.

[24] 王思源, 肖骑兵, 曾建国. 浙江遂昌银−金矿田构造体系控矿的动力成生演化[J]. 地球科学, 2000, 25(4): 410−415.
WANG Si-yuan, XIAO Qi-bing, ZENG Jian-guo. Dynamic formation and evolution of ore-controlling tectonic systems in Suichang silver-gold ore field, Zhejiang Province[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(4): 410−415.

[25] 任纪舜. 论中国南部的大地构造[J]. 地质学报, 1990, 64(4): 275−288.
REN Ji-shun. The discussion of tectonic in Southern China[J]. Acta Geologica Sinica, 1990, 64(4): 275−288.

[26] 赵 越, 徐 刚, 张拴宏, 杨振宇, 张岳桥, 胡健民. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 319−328.
ZHAO Yue, XU Gang, ZHANG Shuan-hong, YANG Zhen-yu, ZHANG Yue-qiao, HU Jian-ming. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia[J]. Geoscience Frontiers, 2004, 11(3): 319−328.

[27] DONG Shu-wen, ZHANG Yue-qiao, LANG Chang-xing, YANG Zhen-yu, JI Qiang, WANG Tao, HU Jiang-ming, CHEN Xuan-hua. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the “Yanshan movement”[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(2): 334−347.

[28] 董树文, 施 炜, 张岳桥, 胡健民, 张忠义, 李建华, 武红岭, 田 蜜, 陈 虹, 武国利, 李海龙. 大巴山晚中生代陆内造山构造应力场[J]. 地球学报, 2010, 31(6): 769−780.
DONG Shu-wen, SHI Wei, ZHANG Yue-qiao, HU Jian-min, ZHANG Zhong-yi, LI Jian-hua, WU Hong-ling, TIAN Mi, CHEN Hong, WU Guo-li, LI Hai-long. The tectonic stress field in the Dabashan orogen resulting from late Mesozoic Intra-Continental orogeny[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(6): 769−780.

[29] 陈卫锋, 陈培荣, 丁 兴, 孙 涛. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究[J]. 中国科学(地球科学), 2007, 37(7): 873−893.
CHEN Wei-feng, CHEN Pei-rong, DING Xing, SUN Tao. The geochronology and geochemistry studies on the Baimashan granites, Hunan[J]. Science in China (Earth Science), 2007, 37(7): 873−893.

[30] 郭春丽, 郑佳浩, 楼法生, 曾载淋. 华南印支期花岗岩类的岩石特征、成因类型及其构造动力学背景探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 457−472.
GUO Chun-li, ZHANG Jia-hao, LOU Fa-sheng, ZENG Zai-lin. Petrography, genetic types and geological dynamical settings of the Indosinian granitoids in South China[J]. Geoteconica et Metallogenia, 2012, 36(3): 457−472.

[31] LEPVRIER C, MALUSKI H, van VUONG N, ROQUES D, AXENTE V, RANGIC C. Indosinian NW-trending shear zones within the Truong Son belt (Vietnam): $^{40}Ar/^{39}Ar$ Triassic ages and Cretaceous to Cenozoic overprints[J]. Tectonophysics, 1997, 238: 105−128.

[32] NAM T N. Thermotectonic events from early Proterozoic to Miocene in the Indochina craton: implication of K-Ar ages in Vietnam[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 1998, 16: 475−484.

[33] CARTER A, ROQUES D, BRISTTOW C. Understanding Mesozoic accretion in southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam[J]. Geology, 2001, 29: 211−214.

[34] 张伯友, 张海洋, 赵振华, 杨树锋, 陈汉林, 石满全. 两广交界处岑溪二叠纪岛弧型玄武岩及其古特提斯性质的讨论[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2003, 39(1): 46−54.
ZHANG Bo-you, ZHANG Hai-yang, ZHAO Zhen-hua, YANG Shu-feng, CHEN Han-lin, SHI Man-quan. Permain Island-arc basalt in West Guangdong and East Guangxi tectonic belt, South China: Implications for the paleotethys[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2003, 39(1): 46−54.

[35] LIU Xin, LI San-zhong, SUO Yan-hui, LIU Xiao-chun, DAI Li-ming, SANTOSH M. Structural anatomy of the exhumation of high-pressure rocks: Constraints from the Tongbai collisional orogen and surrounding units[J]. Geological Journal, 2011, 46: 156−172.

[36] LI Zheng-xiang, LI Xian-hua. Formation of the 1300-km−wide

intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model[J]. Geology, 2007, 35: 179−182.

[37] YU Xin-qi, HOU Ming-jin, WANG De-en. No evidence for a large Mesozoic overthrust in the Lantian area of Anhui Province, South China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2005, 25(4): 601−609.

[38] ZHOU Xin-min, SUN Tao, SHEN Wei-zhou, SHU Liang-shu, NIU Yao-ling. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution[J]. Episodes, 2006, 29(1): 26−33.

[39] 云　飞, 聂凤军, 刘　妍, 江思宏. 中国单一银(−金)矿主要类型及其地质特征[J]. 地质与资源, 2010, 19(2): 151−156.
YUN Fei, NIE Feng-jun, LIU Yan, JIANG Si-hong. Types and characteristics of single silver (-gold) deposits in China[J]. Geology and Resources, 2010, 19(2): 151−156.

[40] 张岳桥, 徐先兵, 贾　东, 舒良树. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 234−247.
ZHANG Yue-qiao, XU Xian-bing, JIA Dong, SHU Liang-shu. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic systemin South China during the early Mesozoic[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 234−247.

[41] 张岳桥, 董树文, 李建华, 崔建军, 施　炜, 苏金宝, 李　勇. 华南中生代大地构造研究新进展[J]. 地球学报, 2012, 33(3): 257−279.
ZHANG Yue-qiao, DONG Shu-wen, LI Jian-hua, CUI Jian-jun, SHI Wei, SU Jin-bao, LI Yong. The new progress in the study of Mesozoic tectonics of South China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33(3): 257−279.

# Structural superimposed halo characteristics and deep metallogenic prediction of Luoshan Au-Ag deposit in Zhejiang Province, China

LU Yu-long[1, 2], XIAO Qiu-yue[2]

(1. Key Laboratory of Non-ferrous Metals Metallogenic Prediction, Ministry of Education, School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Second Geological Party of Hunan Bureau, Nonferrous Geological Prospecting, Xiangtan 411102, China)

**Abstract:** Luoshan Au-Ag deposit is located in the center of NE-striking Yuyao-Longquan uplift belt, which is a significant precious metals mineralization zone in South China. The metallogenic structures and primary halo of this deposit were studied in order to establish the structural superimposed halo model and forecast deep mineralization. The analysis of the tectonic evolution indicates that metallogenic structures are formed during volcanic activity in Yanshan period. The dominant orientation of metallogenic structures (NE63°) was determined by statistical analysis of the ore-bearing structure. Ag and Au are found to be close related to mineralization after correlation analysis on Au、Ag、Cu、Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ba, As, Sb, Bi, Hg, W, Mo elements. R-type cluster analysis suggests the element combination characteristics are as follows: Hg, Sb, As, Ba (front halo)—Au, Ag, Cu, Pb, Zn (near-ore halo)—Co, Ni, Mn, W, Mo, Bi (rear halo). Axial zoning sequence of the zero-line elements, determined through Grigorian method, is Ag-Mn-Bi-Hg-Sb-Ba-Cu-Au-Pb-Mo-As-Zn-W-Co-Ni. Mn and Bi (rear halo elements) are in the upper zone. Hg, Sb, Ba (front halo elements) are in the middle zone; Zn (near halo element) and As (front halo element) are in the lower zone. The reverse zoning sequence indicates that there is a blind ore body located at depth of this deposit. Based on the ore-body characteristics, predicted blind ore body is located at the zero line depth of 250−50 m, and the length along dipping direction is around 100 m.

**Key words:** gold and silver deposit; structural superimposed halo; metallogenic prediction

**Foundation item:** Project (2012-148) supported by the Old Mine Prospecting Project of Chinese Geological Survey, China

**Received date:** 2015-09-28; **Accepted date:** 2016-10-25

**Corresponding author:** LU Yu-long; Tel: +86-15073200633; E-mail: 316645465@qq.com

**(编辑　李艳红)**