第 56 卷 第 5 期 2023 年(总 231 期) 西北地质

NORTHWESTERN GEOLOGY

Vol. 56 No. 5 2023(Sum231)

DOI: 10.12401/j.nwg.2023105

# 湖南水口山老鸦巢金矿床地质特征及成因分析

郭闯,卢玉杰,欧阳志强,史国伟

(湖南省遥感地质调查监测所,湖南长沙 410015)

摘 要:老鸦巢金矿床位于衡阳盆地南缘,水口山铅锌金银矿田的中部,属于隐爆角砾岩型金矿床。金矿体主要赋存于隐爆角砾岩系统及接触破碎带中,受构造、岩浆岩及地层联合控制。笔者基于金矿床的区域地质背景、矿床地质特征、微量元素特征、S-Pb-O同位素特征、成矿温压及盐度特征,以矿体特征、矿石特征、围岩蚀变和自然金成色特征为基础,结合分析成矿地质条件, 厘定矿床成因类型为隐爆-中低温热液复成因金矿床。

关键词:水口山;老鸦巢金矿床;矿床地质特征;成因类型;隐爆角砾岩型

中图分类号: P611.13 文献标志码: A 文章编号: 1009-6248(2023)05-0294-14

# Geological Characteristics and Genetic Analysis of Laoyachao Gold Deposit in Shuikoushan, Hunan Province

GUO Chuang, LU Yujie, OUYANG Zhiqiang, SHI Guowei

(Hunan Provincial Remote Sensing Geological Survey and Monitoring Institute, Changsha 410015, Hunan, China)

**Abstract:** Laoyachao gold deposit is located in the south margin of Hengyang basin and the middle part of Shuikoushan lead–zinc gold deposit. Gold ore bodies mainly occur in cryptoexplosive breccia system and contact fracture zone, which are controlled by structure, magmatic rock and stratum. Based on the regional geological background of gold deposits, ore deposit geological features, trace elements, S–Pb–O isotope characteristics, metallogenic temperature, pressure and salinity characteristics, orebody characteristics, ore characteristics, characteristics of wall rock alteration and assaying the fineness of native gold, as the basis, combining with the analysis of ore–forming geological conditions, deposit genetic type is determined as cryptoexplosion–liquid compound genesis of gold deposits (medium to low temperature).

**Keywords**: Shuikoushan; Laoyachao gold deposit; geological characteristics of ore deposits; genetic type; cryptoexplosive breccia type

隐爆角砾岩型金矿是重要的金矿类型之一,国内 外相继发现了一大批与隐爆角砾岩有关的代表性金 矿床,如美国的朗德山金矿、克里普-克里克金矿、澳 大利亚的基兹顿金多金属矿床和奥林匹克坝银-金- 铀-铜矿床等超大型矿床以及中国的河南祁雨沟金矿、 新疆阿希金矿、山东归来庄和七宝山金矿等中-大型 矿床(罗镇宽等,1999;宋保昌等,2002;梁俊红等, 2011),引起了广大地质学者的广泛关注,取得了许多

#### 收稿日期: 2022-12-15; 修回日期: 2023-04-10; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目:中国地质科学院矿产资源研究所《中国矿产地质志》委托业务项目"南岭中段金属成矿规律与找矿预测"(KD-[2020]-XZ-043),湖南省地质院科研项目"湖南省水口山矿田稀散矿产资源潜力评价"(201922)联合资助。

作者简介:郭闯(1987-),男,硕士,高级工程师,主要从事矿产勘查和综合研究工作。E-mail: guoyongchuang@163.com。

重要的研究成果(李胜荣, 1995; 唐菊兴, 1995; 艾霞, 2002; 卿敏等, 2002; 郭纯智等, 2007; 李弦, 2012; 李志国等, 2012; 尹利君等, 2013; 毛光武等, 2016; 高轲等, 2017)。

老鸦巢金矿床是湖南省有色地质勘查局二一七 队在1987~1990年探明的一个以矿体规模大、矿化 集中、伴生组分多为特点的中型金矿床,属于著名的 水口山铅锌金银矿田的重要组成部分。矿床成因类 型独特,既不同于区内康家湾热液交代充填型金矿床, 又不同于仙人岩浅成低温热液型金矿床及龙王山、新 塘、老虎岩、大园岭等含砾黑色黏土型金矿(全铁军 等,2006)。许多学者从不同角度对该矿床进行了一 系列的研究(巩小栋等, 2011; 黄金川等, 2013; 曹琼等, 2014; 黄金川等, 2015; 蒋梦同等, 2017; 郭闯, 2021a, 2021b),研究内容主要集中于成岩成矿年代学,C-O 同位素特征,矿床地质特征,隐爆角砾岩地质特征,找 矿标志及矿物学特征等方面,鲜有人对其矿床成因进 行研究。笔者在充分搜集近些年最新勘查资料基础 上,结合野外调研成果,总结矿床地质特征,分析成矿 过程, 厘定矿床成因。以期能够丰富该地区金矿床的 成矿理论,为老鸦巢及邻区今后找矿提供帮助。

# 1 区域地质背景

矿床位于南岭成矿构造带中段北缘,衡阳断陷盆 地南缘,株洲-衡阳北东向断裂、郴州-邵阳 NW 向转 换断层和羊角塘-五峰仙东西向断裂的交汇部位(图1) (李能强等,1996)。

区域出露地层主要为泥盆系上统至白垩系下统。 古生界主要为一套海相碳酸盐建造和海陆交互相碎 屑岩建造;中生界为一套海相碳酸盐建造及陆相碎屑 岩建造;新生界为泥、砂、卵石、黏土及砾石层。其中, 二叠系当冲组是本区金矿的主要赋矿或容矿层位。

区域主要经历了加里东运动、印支运动及燕山运动3个构造阶段;印支运动在泥盆系—三叠系形成一系列大小不一的褶皱和与褶皱相应配套的断裂,燕山运动则使上述褶皱进一步倒转并形成规模较大的叠瓦式双层结构推覆断层(李能强等,1996);断层和褶皱是本区主要的构造形态。

区域内共有大小岩体 72 个,总面积为 4.55 km<sup>2</sup>, 分为花岗闪长岩浅成侵入系列和英安质潜火山岩、火 山岩超浅成喷发系列;前者与区内铁铜铅锌矿床成矿 有关,后者与区内铅锌金银矿床成矿相关(李能强等, 1996)。

# 2 矿床地质特征

## 2.1 矿区地质特征

矿区出露地层比较简单,主要为二叠系栖霞组 (P<sub>1</sub>q)、当冲组(P<sub>1</sub>d)和斗岭组(P<sub>2</sub>dl)(图 2)。栖霞组岩 性主要为浅灰色、灰白色厚层灰岩,深灰色含燧石灰 岩和碳质灰岩,是矿区金矿体的次要赋存层位。当冲 组上段为中厚层状含锰硅质岩、硅质岩夹页岩;下段 为泥灰岩、硅质泥灰岩夹碳质页岩,与花岗闪长岩体 接触处,构造破碎厉害,蚀变强烈,是金矿体的主要赋 存部位。斗岭组主要为碳质页岩、泥质粉砂岩和粉砂 质泥岩,夹长石石英砂岩及石英砂岩。矿区主要地层 岩石化学成分分析结果表明当冲组岩石富含 SiO<sub>2</sub> (表 1)。

矿区构造活动强烈,褶皱和断裂均比较发育,主要为老鸦巢倒转背斜和F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>断裂。老鸦巢倒转背斜长约为4km,轴向NS,轴面向W,向E倒转,东西两翼分别被F<sub>1</sub>和F<sub>2</sub>断裂切割,被破坏分割成"岩块"。花岗闪长岩体沿背斜轴部和F<sub>1</sub>断层侵入,在岩体接触带的北边形成老鸦巢金矿床。F<sub>1</sub>断裂长约为4km,走向NNE,往北偏向NNW,倾向西,倾角陡缓不一,北段为60°~70°,南段为20°~40°;南端被花岗闪长岩体侵蚀,多期次的岩浆侵入和断裂活动使得F<sub>1</sub>断裂北段上盘的大理岩破碎成为角砾状大理岩,下盘的当冲组硅质泥灰岩、硅质岩形成隐爆角砾岩和震碎角砾岩,是成矿的良好场所。F<sub>2</sub>断裂长约为4km,走向NNE~NNW,倾向E,倾角为20°~45°,老鸦巢倒转背斜平卧于断层上盘,中段被花岗闪长岩侵蚀,深部切过F<sub>1</sub>断裂(图 3)。

矿区岩浆岩为花岗闪长岩, 面积为 1.8 km<sup>2</sup>, 形态 及产状受背斜和 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 断裂控制(图 3)。岩石矿物成 分主要为中性斜长石、钾长石和石英; 属贫 Si、铝过 饱和、富 Fe、K, 偏碱性花岗闪长岩。微量元素 Pb、Zn、 Cu 等含量较高, K/Rb 值为 288, Co/Ni 值为 1.33~2.27。 黑云母 K-Ar 法测定年龄为 143 Ma(银剑钊等, 1993), 锆石 U-Pb 定年为(156.0±1.0)~(163±2) Ma(马丽艳 等, 2006; 左昌虎等, 2014), 属燕山中期产物。岩浆来 源于上地幔及下地壳的过渡带, 属壳幔混源"I"型 磁铁矿系列(李能强等, 1996)。



1.白垩系—古近系; 2.泥盆系—三叠系; 3.震旦系—志留系; 4.元古代基底; 5.加里东花岗岩; 6.印支期花岗岩; 7.燕山期花岗岩; 8.花岗闪长岩; 9.玄武岩; 10.新元古代—震旦系大洋型岩石圈俯冲带; 11.转换断层; 12.壳断层; 13.B型俯冲带; 14.背斜轴





## 2.2 隐爆角砾岩地质特征

隐爆角砾岩系指岩浆隐蔽爆破作用形成的成因 上相互联系而各具特色的一套碎屑岩组合(卿敏, 2002)。隐爆角砾岩主要以岩筒形式产出,少量呈脉 状产出;其产出多受构造控制,筒状体多产在2条或 多条断裂构造的交叉部位,而脉状体多受控于一条断 裂(王照波,2001)。隐爆角砾岩产于矿区中部,受控 于 F<sub>1</sub>断裂,并沿 F<sub>1</sub>断裂呈脉状分布,围岩为栖霞组浅 灰色、灰白色厚层灰岩以及当冲组下段泥灰岩、硅质 泥灰岩夹碳质页岩。 隐爆角砾岩主要分布于 F₁ 断裂中, 少量分布于当 冲组硅质泥灰岩与栖霞组灰岩接触面附近, 或单独呈 脉状、不规则状和透镜体状插入其他角砾岩中和围岩 裂隙发育处。形态复杂, 呈透镜状、岩墙状、囊状、脉 状、不规则状等; 走向约为 330°, 倾向约为 240°; 倾角 上陡下缓, XI中段以上 50°~70°, XI中段以下约 25°。 Ⅲ~XII中段控制长度为 300~690 m, 厚度不稳定, 最 厚为 80 m, 最薄只有几米, 延伸大于 500 m。

隐爆角砾岩成分比较复杂,角砾成分主要为花 岗闪长岩、硅质泥灰岩、泥灰岩、大理岩、砂卡岩、

## 表1 老鸦巢矿区主要地层岩石化学成分表

| Tab 1   | The chemical | composition | of the ma | in strata   | in Lao  | vachao d | enoci |
|---------|--------------|-------------|-----------|-------------|---------|----------|-------|
| 1 a. l. | The chemical | composition | of the ma | iiii siiata | III Lao | yachao u | eposi |

|     | -14 Jul |                  | 岩石化学成分(%)                      |                                |       |      |  |  |  |  |
|-----|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|--|--|--|--|
| 权加  | 石性      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  |  |  |  |  |
|     | 灰岩      | 1.76             | 0.40                           | 0.20                           | 54.44 | 微量   |  |  |  |  |
| 栖霞组 | 含燧石灰岩   | 8.91             | 2.17                           | 0.38                           | 48.96 | 微量   |  |  |  |  |
|     | 碳质灰岩    | 5.99             | 0.78                           | 0.45                           | 50.48 | 0.11 |  |  |  |  |
|     | 泥灰岩     | 32.94            | 7.24                           | 4.19                           | 20.83 | 5.48 |  |  |  |  |
|     | 硅质泥灰岩   | 43.16            | 7.60                           | 10.80                          | 17.04 | 6.32 |  |  |  |  |
| 当伊珇 | 硅质岩     | 77.88            | 8.03                           | 0.87                           | 1.32  | 0.97 |  |  |  |  |
|     | 含锰硅质岩   | 55.32            | 6.96                           | 5.71                           | 1.03  | 2.30 |  |  |  |  |



1.二叠系上统斗岭组;2.二叠系下统当冲组上段;3.二叠系下统当冲组下段;4.二叠系下统栖霞组;5.花岗闪长岩;
 6.隐爆角砾岩;7.震碎角砾岩;8.接触破碎角砾岩;9.破碎角砾状大理岩;10.砂卡岩;11.断层破碎角砾岩;
 12.实测/推测地质界线;13.逆断层及编号;14.推测断层及编号;15.勘探线及编号;16.黄铁矿体;
 17.金矿体及编号;18.铅锌矿体;19.铅锌黄铁矿体

#### 图 2 老鸦巢金矿区XI中段地质平面图

Fig. 2 Geological plan of the middle XI section of Laoyachao gold deposit



1.二叠系上统斗岭组;2.二叠系下统当冲组上段;3.二叠系下统当冲组下段;4.二叠系下统栖霞组;
 5.花岗闪长岩;6.隐爆角砾岩;7.震碎角砾岩;8.接触破碎角砾岩;9.破碎角砾状大理岩;10.砂卡岩;11.断层破碎角砾岩;12.实测/推测地质界线;13.金矿体及编号

图 3 老鸦巢金矿区 472 线地质剖面图

Fig. 3 Geological profile of 472 line of Laoyachao gold deposit



a、b. 隐爆角砾岩的成分特征; c. 文象结构; d. 隐爆角砾岩; Hf. 角岩; Sk. 砂卡岩;
 Py. 黄铁矿; Chl. 绿泥石; Ls. 灰岩; γδ. 花岗闪长岩

## 图 4 老鸦巢矿区隐爆角砾岩宏观和微观特征图

Fig. 4 Macroscopic and microscopic characteristics of cryptoexplosion breccia in Laoyachao mining area

角岩、方解石、石英及方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等, 常见大角砾包裹小角砾(图 4a、图 4b)。角砾大小不 等,砾径以 1 cm 和 1~5 cm 为主,其中小于 1 cm 者 占 51.9%, 1~5 cm 者占 39.1%, 5~10 cm 者占 5.7%, 大于 10 cm 者占 3.3%。胶结物为肉色的花岗闪长岩 脉、黄铁矿、石英、碳酸盐及岩屑。角砾形态极为复 杂,呈次圆状、椭圆状、棱角状、正方体、不规则状、 糜棱状。具有角砾状和眼球状构造。岩体边缘受自 变质作用影响,具钾化,见有长石与石英共结而形成 的文象结构(图 4c)。

# 2.3 矿体地质特征

矿区金矿体主要赋存在隐爆角砾岩中,少量赋存 在震碎角砾岩及接触破碎角砾岩中(图 2、图 5)。现 已控制大小金矿体 15 个,以Ⅳ号矿体为主,占 75.6%, 次为 I、II、III、V号矿体,占 19.4%(表 2)。控制金 矿化带长为 200~690 m, 宽为 100~470 m, 延深大于 500 m。矿体形态极为复杂, 呈似层状、透镜状、扁豆 状、不规则状、蛇形弯曲状、长条弯曲状、月牙状等; 矿体具分枝、复合、收缩、膨胀现象。

## 2.4 矿石特征

(1)矿石类型。根据矿物的共生组合、矿石结构 和构造特征,金矿石可分为角砾岩型金矿石和破碎蚀 变岩型金矿石。

(2)结构构造。矿石主要为压碎结构、交代残余



1.二叠系上统斗岭组; 2.二叠系下统当冲组上段; 3.二叠系下统当冲组下段; 4.二叠系下统栖霞组; 5.花岗闪长岩; 6.隐爆角砾岩; 7.震碎角砾岩; 8.接触破碎角砾岩; 9.砂卡岩; 10.实测/推测地质界线; 11.断层及编号; 12.铅锌黄铁矿体; 13.金矿体及编号

图 5 老鸦巢金矿区 473 线地质剖面图

Fig. 5 Geological section of 473 line in Laoyachao gold deposit

| 表 2 | 老鸦巢矿  | マキ要金矿 | *体特征             |
|-----|-------|-------|------------------|
|     | てってんり |       | - PTP- 1-10 1-11 |

| Tab. | 2 | The main | n character | ristics of | f gold | oreboc | ly in i | Laoyacl | hao d | leposi | 1 |
|------|---|----------|-------------|------------|--------|--------|---------|---------|-------|--------|---|
|------|---|----------|-------------|------------|--------|--------|---------|---------|-------|--------|---|

|      |                     | 矿体规模  |       |                                  |          | 亚均县位                | 厚度亦化          | 品位查化                 |
|------|---------------------|-------|-------|----------------------------------|----------|---------------------|---------------|----------------------|
| 矿体编号 | 控制                  | 控制    | 平均    | 产状(°)                            | 形态       | (10 <sup>-6</sup> ) | 序及文化<br>系数(%) | 品 型 之 化<br>系 数 ( % ) |
|      | 长度(m)               | 延深(m) | 厚度(m) |                                  |          |                     |               |                      |
| Ι    | 65~185              | 346   | 2.61  | $210 \sim 260 \angle 30 \sim 50$ | 似层状、透镜状  | 4.92                | 74.07         | 220.87               |
| П    | 30~110              | 213   | 3.07  | $240 \sim 250 \angle 25 \sim 30$ | 透镜状、似层状  | 4.45                | 87.85         | 70.41                |
| Ш    | $40 \! \sim \! 170$ | 371   | 4.12  | $210 \sim 150 \angle 35 \sim 45$ | 似层状、透镜状  | 5.56                | 75.76         | 92.08                |
| IV   | $135 \sim 565$      | 407   | 7.50  | $220 \sim 240 \angle 25 \sim 50$ | 透镜状、不规则状 | 5.61                | 94.70         | 101.93               |
| V    | 35                  | 34    | 1.50  | 255∠35                           | 透镜状      | 8.81                | -             | _                    |

结构、包含结构、半自形--他形晶粒状结构、充填结构。 矿石构造以块状构造、角砾状构造、条带状构造、网 脉状构造及浸染状构造为主。

(3)矿物组成。根据岩矿鉴定分析结果,主要金属矿物为自然金(4×10<sup>-6</sup>~5×10<sup>-6</sup>)、黄铁矿(28%~30%)、闪锌矿(0.8%~1.5%)、黄铜矿(0.3%)、方铅矿(0.1%);主要非金属矿物为方解石(19%~21%)、石英(18%~21%)、石榴子石(2%~7.6%)、透辉石(2%~

5%)等。

(4)金矿物及分布特征。经反光显微镜及电子探 针分析,老鸦巢金矿区中以自然金为主,次为硫化物 金、酸溶性金及石英包裹体金;前者占 80.5%,后三者 合计占 19.5%。自然金主要分布在脉石矿物石英、方 解石以及胶结物中;或金属矿物黄铁矿、磁铁矿、闪 锌矿、方铅矿中;或这些金属矿物与脉石矿物的接触 面和裂隙空洞中(表 3)。

表 3 老鸦巢矿区自然金的赋存状态表

| Tab. 3 | The occurrence state of natura | al gold in | Laoyachao deposit |  |
|--------|--------------------------------|------------|-------------------|--|
|        |                                | 0          | 2 1               |  |

| 矿物名称   | 方铅矿  | 闪锌矿  | 黄铁矿  | 磁铁矿  | 石英    | 方解石  | 脉石    | 空洞、裂隙中 | 脉石与各金属<br>矿物接触面上 |
|--------|------|------|------|------|-------|------|-------|--------|------------------|
| 含金量(%) | 0.02 | 1.84 | 7.00 | 3.40 | 30.16 | 4.65 | 27.42 | 10.58  | 14.93            |
| 占比(%)  | 0.38 | 3.05 | 5.34 | 4.58 | 44.66 | 6.49 | 15.27 | 1.91   | 18.32            |

#### 2.5 围岩蚀变

矿区内围岩蚀变强烈,蚀变类型主要为矽卡岩化、 角岩化、硅化、碳酸盐化、大理岩化、赤铁矿化、绿泥 石化及绢云母化。其中硅化、绿泥石化、碳酸盐化、 绢云母化与金成矿关系比较密切。

#### 2.6 自然金的成色特征

研究表明, 矿床自然金的成色与矿床类型、成矿 深度、成矿时代、温度及成矿流体的性质密切相关 (刘星, 1991; 王冰生, 1994; 梁俊红等, 2000)。区域岩 浆热源热液矿床金成色为 632‰~992‰, 平均为 693‰~962‰, 一般大于 800‰; 内生中深或深成金

矿床的平均成色为 886‰, 浅成金矿床的平均成色为 647‰; 浅部低温矿床为 500‰~700‰; 中深中温带 内矿床一般为 750‰~900‰, 850‰~870‰最常见, 深成高温带内大于 800, 新生代之前的金矿床 Au/Ag 值一般大于 1(梁俊红等, 2000)。

老鸦巢矿区自然金的成色最高为932.9‰,最低为868.6‰,平均为892.6‰;Au/Ag值均大于1,平均为8.81 (表4)。按照上述研究规律,该矿床形成于新生代之前,中温深成环境,类型为区域岩浆热源热液矿床;金 矿物质主要来源深部,不是来源于围岩。

表 4 老鸦巢矿区自然金电子探针分析结果表

| T 1 4   | D 1/ C / 1         | 1111              | 1 1 <sup>·</sup> · T | 1 1 1          |
|---------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------|
| Ian 4   | Require of natural | gold electron nro | ne analysis in I ao  | vachao denosit |
| 1 au. – | itesuns of natural | goid cicculon pro | 00 analysis in Lao   | vachao acposit |

| 长旦     | <b>盐休</b>   | 分析项目》  | 及结果(%) | 成备(%)     |       |  |
|--------|-------------|--------|--------|-----------|-------|--|
| 件写     | 软件师初 —      | Au     | Ag     | 一 成臣(700) | Au/Ag |  |
| 10 057 | 方解石与黄铁矿接触界面 | 90.246 | 9.071  | 908.6     | 9.45  |  |
| 10 045 | 黄铁矿         | 92.965 | 6.781  | 932.9     | 13.71 |  |
| 10 045 | 磁铁矿         | 87.346 | 11.921 | 879.9     | 7.33  |  |
| 10 045 | 磁铁矿与石英接触界面上 | 86.545 | 13.090 | 868.6     | 6.61  |  |
| 11 168 | 脉石中         | 86.695 | 12.505 | 873.9     | 6.93  |  |
| 平均     |             | 88.759 | 10.674 | 892.6     | 8.81  |  |

注:数据来源于曹琼等,2014。

# 3 矿床地球化学特征

#### 3.1 微量元素特征

矿区WI~XIII中段花岗闪长岩体、构造角砾岩、 近矿围岩含Au情况(表5),区域及水口山矿田二叠系

## 各地层岩石 Au 含量(表 6)。

老鸦巢矿区 WI~XIII 中段各类岩石 Au 品位最高的是隐爆角砾岩,可达 3.50×10<sup>-6</sup>;其次为接触破碎角砾岩和震碎角砾岩,最低的为硅质泥灰岩和砂页岩, 仅为 0.42×10<sup>-6</sup> 和 0.29×10<sup>-6</sup>,为隐爆角砾岩的 1/8 和 1/12,显示隐爆角砾岩与金矿的密切关系(表 5)。区

## 表 5 老鸦巢矿区 WI~XIII 中段各类岩石含 Au 品位表

Tab. 5 Gold grade table of all kinds of rocks in the middle section VII ~XIII of Laoyachao deposit

| 岩石                        | 花岗   | 隐爆    | 接触    | 震碎    | 角砾   | 断层   | 硅质   | 孙五皇  |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 名称                        | 闪长岩  | 角砾岩   | 破碎角砾岩 | 角砾岩   | 状大理岩 | 角砾岩  | 泥灰岩  | 砂贝石  |
| 样品个数                      | 118  | 2 292 | 835   | 1 747 | 349  | 67   | 298  | 18   |
| Au平均品位(10 <sup>-6</sup> ) | 0.43 | 3.50  | 1.58  | 1.08  | 0.58 | 0.50 | 0.42 | 0.29 |

注:数据来源于曹琼等(2014)。

表 6 区域及水口山矿田二叠系各地层岩石 Au 元素含量表

| Table of Au content in Strata of Fernian in Sharkoushan ofer field | Tab. | 6 | Table of Au | content in | strata | of Pern | nian in | Shuil | coushan | ore | field |
|--|------|---|-------------|------------|--------|---------|---------|-------|---------|-----|-------|
|--|------|---|-------------|------------|--------|---------|---------|-------|---------|-----|-------|

| 区域二叠系            | Au含量(10 <sup>-9</sup> ) | 矿田二叠系岩石 | Au含量(10 <sup>-9</sup> ) | 4号花岗闪长岩体Au含量(10 <sup>-9</sup> ) |
|------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------------------------------|
| P <sub>2</sub> c | 1.914                   | 碎屑岩     | 2.22                    |                                 |
| $P_2 dl$         | 1.457                   | 泥质岩     | 3.23                    | - < .                           |
| $P_1d$           | 3.320                   | 硅质岩     | 2.77                    | /6.4                            |
| $P_1q$           | 0.999                   | 碳酸盐岩    | 1.83                    |                                 |
| 地壳Au含量           |                         |         | 4×10 <sup>-9</sup>      |                                 |

域和矿田二叠系 Au 含量差别不大(表 6),基本接近或 略低于克拉克值,没有明显的富集;但矿区Ⅲ~XI-Ⅱ中段近矿围岩和花岗闪长岩金元素出现了明显的 富集作用,是原地层含量的近百倍,是原花岗闪长岩 体的 5.6 倍。

上述微量元素地球化学特征表明,矿区二叠系和 花岗闪长岩体金元素含量比较低,并不具备提供矿源的 基础条件;成矿物质的来源可能与后期热液活动有关。

## 3.2 稳定同位素地球化学特征

(1)S 同位素特征

矿石矿物黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿 25件 S 同位素测定结果显示,矿区 S<sup>32</sup>/S<sup>34</sup>值为 21.994~ 22.252,平均为 22.177,δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub>值为-1.5‰~10.298‰, 但大部分为-1.5‰~3.5‰,呈塔式分布,接近陨石硫 (李能强等,1996)。

研究认为,在特定情况条件下,成矿流体总硫同 位素组成可近似由硫化物的测值平均数代替(杨勇等, 2010)。笔者以总硫作为研究对象,所选的样品全部 取自铅锌黄铁矿型金矿石,矿石矿物类型比较单一,  $\delta^{34}S_{CDT}$ 值分布范围狭窄,符合上述条件。全硫同位素 组成的范围介于-2.0‰~6.5‰的矿床为岩浆硫来源, 而总硫  $\delta^{34}S_{CDT}$ 值为 5.0‰~15.0‰的硫源应为局部围 岩混合硫(过渡硫)(戚长谋等,1994;徐文忻,1995); 矿区介于岩浆硫与围岩混合硫之间,但主要分布于岩 浆硫范围内,表明成矿物质主要来源于岩浆。

## (2)0同位素特征

矿区成矿流体 O 同位素组成 δ<sup>18</sup>O 值为+4.93‰~ +5.58‰(李能强, 1996), 与岩浆水(δ<sup>18</sup>O 值为+5.5‰~ +10‰)和水口山矿田岩浆水(δ<sup>18</sup>O 值为+7.45‰~ +9.34‰)非常接近, 而与南岭地区中生代大气降水的 δ<sup>18</sup>O 值(-8‰)(张理刚, 1985)差别非常大, 表明矿区 成矿热液组成中, 岩浆水所占比例较大。

(3)Pb同位素特征

在老鸦巢矿区坑道取 5 件样品测定其 Pb 同位素 组成(表 7)。结果表明:<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 值为 18.10~18.63, 变化不超过 2.9%;<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 值为 15.32~15.85, 变化

表 7 老鸦巢矿区 Pb 同位素组成及参数表

| TT 1 T   | <b>.</b>   | • . •           | 1 .            | 01 1.     | T 1         |                 |
|----------|------------|-----------------|----------------|-----------|-------------|-----------------|
| Tah /    | Isotonic c | composition and | d narameters . | ot lead i | n Laovachac | mining area     |
| 1 a 0. / |            | ombosition and  | a Darameters   | or icau i |             | $mmm \leq arca$ |

| 序号 | <sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb | <sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb | <sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb | μ    | Th/U | Δα    | Δβ    | Δγ    |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| 1  | 18.493                               | 15.782                               | 38.745                               | 9.81 | 3.85 | 91.17 | 30.69 | 48.43 |
| 2  | 18.10                                | 15.32                                | 39.11                                | 8.95 | 4.14 | 45.48 | -0.76 | 45.27 |
| 3  | 18.63                                | 15.85                                | 39.35                                | 9.93 | 4.04 | 97.93 | 35.05 | 64.08 |
| 4  | 18.36                                | 15.50                                | 39.21                                | 9.27 | 4.07 | 63.65 | 11.14 | 49.79 |
| 5  | 18.34                                | 15.64                                | 38.87                                | 9.55 | 3.96 | 77.23 | 21.11 | 49.08 |

不超过 3.5%;<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 值为 38.745~39.35,变化不超 过 1.6%,说明 Pb 同位素组成还是比较稳定的,基本上 属于正常铅。

利用 Geokit 软件计算 Pb 同位素的相关参数 (表 7)(路远发, 2004)。Th/U 值为 3.85~4.14, 平均 值为 4.01, 变化范围较窄, 显示出稳定 Pb 同位素特 征;数值介于原始地幔平均值(3.95)和下地壳平均 值(6.0)之间, 表明矿物应属下地壳或幔源。矿石µ 值为8.95~9.93, 平均值为9.50, 小于9.58, 介于地壳( $\mu_c$ = 9.81)与原始地幔( $\mu_0$ =7.80)之间(吴开兴等, 2002), 指示矿石铅来源于上地幔或下地壳。研究表明, 高 放射壳源铅µ 值大于 9.58, 低放射性深源铅µ值小于 9.58(沈能平等, 2008), 显示该区 Pb 同位素具有深源 铅特征。Pb 同位素组成图解中(图 6), 有关样品分



A.地幔; B.造山带; C.上地壳; D.下地壳

图 6 Pb 同位素组成图



布于造山带和下地壳铅演化线之间,认为属下地壳 铅和造山带铅的混合产物。

用 Δβ 和 Δγ 分析成因示踪,可以准确定位成矿物 质源于何种地质体,探讨矿石铅的物质来源,提供更 丰富的地质过程与物质来源信息(朱炳泉等,1998;赖 健清等,2015)。Pb 同位素成因 Δβ–Δγ 分类图(图 7) 显示投影点比较分散,有 3 个为上地壳铅,1 个为中深 变质作用铅,1 个为造山带铅,显示为混合铅。Pb 同 位素构造环境判别图解(图 8)显示,数据点落在下地 壳和造山带范围内,集中于下地壳范围。由此可见, 该区矿石铅的同位素组成以下地壳铅为主、混合了少 量幔源铅,形成环境为造山带附近。



 1.地幔铅;2.上地壳铅;3.上地壳与地幔混合的俯冲带铅(a.岩浆 作用,b.沉积作用);4.化学沉积型铅;5.海底热水作用铅;6.中 深变质作用铅;7.深变质下地壳铅;8.造山带铅;9.古老页岩上地 壳铅;10.退变质铅

### 图 7 Pb 同位素 $\Delta\beta = \Delta\gamma$ 分类图

Fig. 7 Lead isotope  $\Delta\beta$ - $\Delta\gamma$  classification figure



LC.下地壳;UC.上地壳;OIV.洋岛火山岩;OR.造山带;A~D分别为各区域中样品相对集中区

图 8 Pb 同位素构造环境判别图



第5期

## 3.3 成矿温压及盐度特征

据爆裂法测温结果(李能强等,1996): 黄铁矿为 120~360 ℃, 铅锌为 205~315 ℃, 方解石为 275~ 308 ℃, 石英为 138~360 ℃。成矿温度差异较大, 具 较明显的中低温热液及多阶段成矿特征。

矿区矿物包裹体分析结果显示(表 8),包裹体温 度最高为 390 ℃,最低为 138 ℃,主要为中-低温;盐度 最高为 46.41%,最低为 4.83%,平均值为 28.2%,属于 中-低盐度;压力变化比较大,最低为 8 atm,最高为 433 atm,压力变小时,温度迅速下降,显示成矿过程中 压力、温度降低显著,具隐爆特征,是能力迅速释放的 结果。以上特征与隐爆角砾岩型金矿床相符合(毛光 武等, 2016)。

# 3.4 矿物标型元素特征

黄铁矿和闪锌矿是矿区金的重要载体,研究黄铁

# 表 8 老鸦巢矿区矿物包裹体测试分析结果表

 
 Tab. 8
 Table of mineral inclusion test analysis results in Laoyachao mining area

| 样旦种米                       | 压力    | 温度   | 盐度    |
|----------------------------|-------|------|-------|
| 件吅作关                       | (atm) | (°C) | (%)   |
| 花岗闪长岩中的灰白石英                | 433   | 390  | 46.41 |
| 砂卡岩化中的石榴子石                 | 320   | 375  | 16.20 |
| 硫化矿石中灰白石英(J <sub>1</sub> ) | 258   | 360  | 45.39 |
| 硫化矿石中透明石英(J <sub>2</sub> ) | 8     | 138  | 4.83  |

矿和闪锌矿中标型元素的特征对厘定矿床成因具有 十分重要的意义(杨前进等,1999;裴玉华等,2006;付 治国等,2009;彭丽娜等,2009;李志国等,2012;杜亚 龙等,2017;高永伟等,2019)。老鸦巢矿区黄铁矿、闪 锌矿标型元素特征(表9)。

表 9 老鸦巢矿区单矿物标型元素与矿床成因关系表

Tab. 9 The relationship between single mineral type element and deposit genesis in Laoyachao mining area

| 矿物名称  | 一書社                   | 粉店     | 判别成因标准             |               |                |  |
|-------|-----------------------|--------|--------------------|---------------|----------------|--|
|       | 儿系刈                   | 刻 但    | 内生                 | 外生            |                |  |
|       | Co/Ni                 | 1.72   | >1                 | <1            |                |  |
| 共 供 矿 | S/Se                  | 15 000 | $<\!20000$         | $> 20\ 000$   |                |  |
| 與 伏 切 | Pb/Ni                 | 25.8   | 声同                 | 低             |                |  |
|       | Tl/Se                 | 0.05   | 低                  | 言             |                |  |
| 矿版友护  | 元素对                   | 数值     | 判别成因标准             |               |                |  |
| 9 初石怀 |                       |        | 高温                 | 中温            | 低温             |  |
|       | TFe(%)                | 3.3    | $10 \sim 20$       | 3~10          | 1~3            |  |
|       | In( 10 <sup>-6)</sup> | 66     | $150 \sim 520$     | $11 \sim 240$ | 0~30           |  |
| 闪锌矿   | Cd(%)                 | 0.28   | 0.20               | 0.6           | 1.5            |  |
|       | Ga( 10 <sup>-6)</sup> | 24     | 1.3~14             | 1.1~32        | $18 \sim 200$  |  |
|       | Ga/In                 | 0.364  | $0.001\!\sim 0.50$ | 0.01~5        | $1\!\sim\!100$ |  |

矿 区 黄 铁矿 Co/Ni 值 为 1.72, S/Se 值 为 15 000, Pb/Ni 值为 25.8, Tl/Se 值为 0.05, 显示内生矿床的特征; 闪锌矿 TFe 含量为 3.3%, In 含量为 66×10<sup>-6</sup>, Cd 含量 为 0.28%, Ga 含量为 24×10<sup>-6</sup>, Ga/In 值为 0.364, 显示中– 低温矿床的特征(表 9); 综合可知老鸦巢金矿床应属 中–低温内生矿床。

# 4 矿床成因探讨

### 4.1 成矿地质特征

(1)地层特征:矿区金矿体主要产于栖霞组灰岩 和当冲组硅质岩、硅质泥灰岩形成的隐爆角砾岩中, 微量元素分析结果显示栖霞组和当冲组地层 Au 含量 并不高,不具备提供物源的基础条件。但栖霞组和当 冲组中的灰岩、硅质岩及硅质泥灰岩岩性脆,在动力 作用条件下极易破碎形成大规模破碎带,利于矿液的 运输和沉淀。另外,当冲组中含有大量的 SiO<sub>2</sub>,对金 元素的活化迁移、沉淀富集具有促进作用(樊文苓等, 1993, 1994, 1995; 闫升好, 1998)。因此,地层对金矿的 控制主要体现在有利的岩性。

(2)构造特征:金矿体赋存于构造破碎带中,沿F<sub>1</sub> 断裂分布,F<sub>1</sub>断裂是矿区主要的导矿构造;矿体的形态、规模与破碎带的形态、规模关系密切,矿体富集 地段往往是破碎带变形或膨胀的部位。例如,Ⅳ号金 矿体在IX中段上陡下缓的拐弯部位,矿体厚度变薄、 规模变小;而IX中段的上下中段,矿体规模变大。研 究表明,弯曲膨胀部位应力释放,易形成低压扩容空 间,有利于含矿气液沉淀(关键等,2004;安国堡, 2005)。

(3)岩浆岩特征:矿体主要赋存在老鸦巢倒转背 斜轴部花岗闪长岩体北东端隐爆角砾岩中,矿体形态、 矿石矿物类型、结构构造以及围岩蚀变均显示了热液 矿床的特征。S、O同位素地球化学特征显示矿床成 矿物质主要来源于岩浆热液;Pb同位素地球化学特征 显示成矿物质为壳幔混合型,与矿区花岗闪长岩的物 质来源相同;矿石矿物的标型元素特征显示矿床类型 为中低温内生矿床。以往对老鸦巢矿床的研究表明 矿床成矿年龄(157.8±1.4)Ma和花岗闪长岩的侵位年 龄(158.8±1.8)Ma也相当吻合(黄金川等,2015)。以 上均说明成岩和成矿具有密切的时空联系,岩浆活动 不但为成矿提供了热源,而且还提供了物质来源。

## 4.2 成矿过程分析

(1)引爆机制:矿区花岗闪长岩体是多期次、多旋 回的浅成至次火山岩侵入体,岩体在燕山中期开始侵 位于石炭系至白垩系一套海陆交互相及陆相的碳酸 盐岩和碳质砂、页岩岩系;在接近地表时,受到地表内 裂隙水而迅速冷却,同时在壳层破碎岩石周围凝固构 成了一个封闭的"屏蔽层"。"屏蔽层"层下的岩 浆仍不断在活动,结晶分异作用形成的富含挥发分的 汽、液及存在于其内的地下水,不断煮沸气化,致使系 统内压急剧增加。由于多期次多旋回岩浆侵入期后 的残余气、液浆的聚集,能量相对集中,这些富含碱质、 挥发成分气、液浆过饱和的同时,且有过热特点,并从 高能位向低能位的围岩介质移动时,物理化学条件的 改变,物质状态突变而引起能量迅速释放,大量热能 迅速变为机械能,使上部及旁侧围岩产生破碎角岩化, 角岩又重新破碎。上升侵位越高,与围岩的压力及温 度梯度也越大,整个气化蒸馏作用也就越强烈,形成 的角砾化范围越广。

(2)矿床形成过程:矿区含金角砾岩的成因极为 复杂,是岩浆岩、地层及多期次构造叠加作用的结果。 由于岩浆活动和构造运动,在环绕岩体和破碎带的栖 霞组和当冲组地层中首先形成接触破碎角砾岩、构造 角砾岩及极少量岩溶角砾岩,而后岩浆结晶分异作用 形成的残余气、液浆沿断层上涌并且在上述角砾岩裂 隙进行隐蔽爆破,形成了目前所见到的隐爆角砾岩, 并且隐蔽爆破作用在附近围岩也形成了一定厚度的 震碎带及震碎角砾岩。角砾岩形成之后,多期次的含 金矿液沿角砾裂隙进行反复的充填、交代形成金 矿体。

# 4.3 成因类型探讨

老鸦巢金矿体赋存于4号花岗闪长岩体北东端 接触破碎带、隐爆角砾岩中。矿体严格受构造、地层 及岩浆岩控制。矿石矿物黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和 黄铜矿以及与成矿期相近的硅化、绿泥石化、碳酸盐 化及绢云母化等,均是中-低温热液矿床常见的矿物 和围岩蚀变。矿体呈透镜体状、不规则状、似层状等; 矿石具交代残余结构、压碎结构和角砾状结构、脉状 构造及浸染状构造,都具较明显的热液交代和多期次 构造复合、叠加、动力变质特征。

矿区中含金黄铁矿和闪锌矿的标型元素含量及 其比值显示内生、中-低温矿床的特征。矿床微量元 素研究显示,金矿床的形成在物质来源上与地层没有 必然的关系。

矿床的 S 同位素特征显示矿区主要为岩浆硫,表 明成矿物质主要来源于岩浆; Pb 同位素特征显示铅具 壳幔型及混合源特征; O 同位素特征显示成矿流体主 要为岩浆热液。

矿床成矿温压及盐度研究显示成矿流体温度差 异较大,具有中-低温、中-低盐度以及压力迅速释放、 温度急剧下降的隐爆特点,符合隐爆角砾岩型金矿的 显著特征。矿床自然金的成色研究显示该矿床形成 于新生代之前的中温深成环境,其类型为区域岩浆热 源热液矿床。

综合上述特征,该矿床成矿方式是岩浆期后的残 余气液隐爆、热液交代、叠加改造型的中低温热液复 成因矿床,属于隐爆-中低温热液复成因金矿床,即隐 爆角砾岩型金矿床。

# 5 结论

(1)矿区金矿体主要赋存在隐爆角砾岩中,金矿 石可分为角砾岩型金矿石和破碎蚀变岩型金矿石;矿 床围岩蚀变强烈,其中硅化、绿泥石化、碳酸盐化和 绢云母化与成矿关系比较密切。

(2)矿区二叠系和花岗闪长岩体 Au 含量均比较低,并不具备提供矿源的基础条件,成矿物质的来源可能与后期热液活动有关。

(3) 矿床 S 同位素特征显示其主要为岩浆硫, Pb 同位素显示其具壳幔型及混合源特征, O 同位素显示 成矿流体主要为岩浆热液; 成矿温压、盐度及矿物标 型元素特征显示矿床属中低温内生矿床。矿床属隐 爆-中低温热液复成因金矿床, 即隐爆角砾岩型金 矿床。

# 参考文献(References):

- 安国堡.小宛南山金矿地质特征及成因[J].地质与勘探,2005, 41(3):27-32.
- AN Guobao. Geological characteristics and genesis of Xiaowannanshan gold deposit in western Gansu province [J]. Geology and Prospecting, 2005, 41(3): 27–32.
- 艾霞. 隐爆角砾岩型金矿成矿地质条件构造类型及找矿标志 [J]. 矿床地质, 2002, 21(S1): 569-572.
- AI Xia. Gold Mineralizations in Cryptoexplosion Breccia Pipes: Their Ore-formingGeological Conditions, Tectonic Settings and Prospecting Criteria[J]. Mineral Deposit, 2002, 21(S1): 569–572.
- 曹琼, 庞绪成, 宛克勇, 等. 湖南老鸦巢隐爆角砾岩型金矿床地 质特征及找矿标志[J]. 黄金科学技术, 2014, 22(1): 15-21.
- CAO Qiong, PANG Xucheng, WAN Keyong, et al. Geological Characteristics and Indication for Prospecting in Laoyachao Cryptoexplosive Breccia Pipe Gold Deposit, Hunan Province[J]. Gold Science and Technology, 2014, 22(1): 15–21.
- 杜亚龙,李智明,王继斌,等.新疆西天山卡特巴阿苏金矿黄铁 矿地球化学特征及地质意义[J].西北地质,2017,50(1): 239-248.
- DU Yalong, LI Zhiming, WANG Jibin, et al. Geochemical Characteristics and Geological Significance of the Pyrites from the Katbasu Au Deposit in West Tianshan, Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(1): 239–248.
- 樊文苓,王声远,吴建军.低温热液中金-硅络合作用的实验标 定[J].科学通报,1993,38(10):933-935.
- FAN Wenling, WANG Shengyuan, WU Jianjun. Experimental calibration of gold-silicon complexation in low temperature hydrothermal fluid[J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(10): 933–935.
- 樊文苓,王声远,田戈夫.金-硅配合作用的实验研究及其地球 化学意义[J].矿物岩石地球化学通报,1994,1:18-20.
- FAN Wenling, WANG Shengyuan, TIAN Yifu. Experimental study on gold-silicon interaction and its geochemical significance[J].Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1994, 1: 18–20.
- 樊文苓,王声远,田戈夫.金在碱性富硅热液中溶解和迁移的实验研究[J].矿物学报,1995,15(2):176-184.

- FAN Wenling, WANG Shengyuan, TIAN Yifu. Experimental studies on the solubility and transport of gold in alkaling aqueous SiO<sub>2</sub>-rich solutions[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1995, 15(2): 176–184.
- 付治国,郑红星,卢欣祥.小秦岭-熊耳山地区金矿床矿石矿物 标型特征分析[J].地质与勘探,2009,45(2):53-59.
- FU Zhiguo, ZHENG Hongxing, LU Xinxiang. District[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(2): 53–59.
- 高轲,多吉,唐菊兴,等.西藏拿若铜(金)矿床隐爆角砾岩锆石 U-Pb年代学及地球化学特征[J].中国地质,2017,44(3): 618-619.
- GAO Ke, DUO Ji, TANG Juxing, et al. Geochronology and geochemistry of cryptoexplosive breccia from the Naruo Cu (Au) deposit, Tibet[J]. Geology in China, 2017, 44(3): 618–619.
- 高永伟,王志华,黎卫亮,等.热液型金矿床中的黄铁矿矿物学 研究综述[J].西北地质,2019,52(3):58-69.
- GAO Yongwei, WANG Zhihua, LI Weiliang, et al. A Review of Pyrite Mineralogy Research in Hydrothermal Gold Deposits[J]. Northwestern Geology, 2019, 52(3): 58–69.
- 巩小栋,李永胜,公凡影,等.湖南水口山老鸭巢铅锌金矿床地 质特征[J].矿物学报,2011,(S1):20-21.
- GONG Xiaodong, LI Yongsheng, GONG Fanying, et al. Geological characteristics of Laoyachao lead-zinc gold deposit in Shuikoushan, Hunan Province[J]. Acta Mineralogica, 2011, (S1): 20–21.
- 关键, 孙丰月, 刘洪文. 吉林省东部韧性剪切带特征及其与金银 成矿关系[J]. 地质与勘探, 2004, 40(2): 7-11.
- GUAN Jian, SUN Fengyue, LIU Hongwen. The basic characteristics of ductile shear zones and the significance to precious metal mineralization in the eastern Jilin province [J]. Geology and Prospecting, 2004, 40(2): 7–11.
- 郭闯. 湖南水口山老鸦巢金矿区隐爆角砾岩地质特征及控矿作用[J]. 黄金, 2021a, 42(10): 24–29.
- GUO Chuang. Geological characteristics and ore control of cryptoexplosive breccia in Laoyachao Gold District, Shuikoushan, Hunan[J]. Gold, 2021a, 42(10): 24–29.
- 郭闯. 湖南水口山老鸦巢金铅锌矿床构造类型及控矿特征[J]. 矿产与地质, 2021b, 35(6): 1039-1046.
- GUO Chuang. Structural type and ore-controlling characteristics of Laoyachao Au-Pb-Zn deposit in Shuikoushan ore field, Hunan[J]. Mineral Resources and Geology, 2021b, 35(6): 1039–1046.
- 郭纯智,魏全民,叶晖.鸡冠嘴矿床隐爆角砾岩和斑岩型矿体的 存在及其特征[J].金属矿山,2007,(2):52-54.
- GUO Chunzhi, WEI Ouanmin, YE Hui. Occurrence of Cryptoexplosive Breccia and Porphyry Type Orebodies in Jiguanzui Deposit and Their Characteristics [J]. Metal Mine, 2007, (2): 52–54.
- 黄金川,彭建堂,阳杰华,等.湘南水口山老鸦巢 Pb-Zn 矿床成 岩成矿年代学研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,

45(S1): 1510.

- HUANG Jinchuan, PENG Jiantang, YANG Jiehua, et al. Diagenetic and metallogenic chronology of the Laoyaochao Pb-Zn deposit in Shuikoushan, Southern Hunan[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015, 45(S1); 1510.
- 黄金川,彭建堂,阳杰华,等.湖南水口山老鸦巢铅锌金矿床碳、 氧同位素特征[J].高校地质学报,2013,19(Sup.):194.
- HUANG Jinchuan, PENG Jiantang, YANG Jiehua, et al. Characteristics of carbon and oxygen isotopes in the Laoyachao Pb-Zn gold deposit, Shuikoushan, Hunan[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(Sup.); 194.
- 蒋梦同,邵拥军,冯玉龙,等.湖南老鸦巢铅锌矿床黄铁矿微区 成分特征[J].南方金属,2017,(215):32-34.
- JIANG Mengtong, SHAO Yongjun, FENG Yulong, et al. Micro Area Composition Characteristics of Pyrite in the Laoyachao Pb-Zn Deposit in Hunan Province[J]. Southern Metals, 2017, (215): 32–34.
- 赖健清,黄敏,宋文彬,等.青海卡尔却卡铜多金属矿床地球化 学特征与成矿物质来源[J].地球科学-中国地质大学,2015, 40(1):1-16.
- LAI Jianqing, HUANG Min, SONG Wenbin, et al. Geochemical Characteristics and Source of Ore-Forming Materials of Kaerqueka Copper Polymetallic Deposit in Qinghai Province, China[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2015, 40(1): 1–16.
- 梁俊红, 巩恩普, 姚玉增, 等. 中酸性隐爆角砾岩型金属矿床稀 土元素地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 2011, 26(1): 23-27.
- LIANG Junhong, GONG Enpu, YAO Yuzeng, et al. The REE geochemical characteristics of intermediate-acid crytoexplosive breccia-type metalliferous deposit[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2011, 26(1): 23–27.
- 梁俊红,刘海波,王建国,等.自然金的标型及成色特征在金矿 床研究中的意义[J].黄金,2000,21(12):1-4.
- LIANG Junhong, LIU Haibo, WANG Jianguo, et al. The meaning of the typomorphic characteristics of native gold and its fineness feature in the researches of ore deposit[J]. Gold, 2000, 21(12): 1–4.
- 李能强, 彭超. 湖南水口山铅锌金银矿床 [M]. 北京: 地震出版 社, 1996.
- LI Nengqiang, PENG Chao. Shuikoushan Lead-Zinc-Gold-Silver Orefield, Hunan, China[M]. Bingjing: Seismological Press, 1996.
- 李胜荣. 以隐爆角砾岩型为主的金矿床系列模式[J]. 有色金属 矿产与勘查, 1995, 4(5): 272-277.
- LI Shengrong. A metallogenic series of crypto explosive breccia typedominated gold deposits [J]. Geological exploration for non-ferrous metals, 1995, 4(5): 272–277.
- 刘星. 金成色成因探讨[J]. 地质与勘探, 1991, 27(2): 34-39.

- LIU Xing. On Genesis and Fineness of Native Gold[J]. Geology and Prospecting, 1991, 27(2): 34–39.
- 李弦.新疆巴楚地区金伯利质隐爆角砾岩成岩年龄及成岩机制 研究[D].北京:中国地质大学,2012.
- LI Xian. Age of the Kimberlitic Explosive Breccia in the Bachu Area, Xinjiang and Its Diagenetic Mechanism Research[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012.
- 李志国,曾祥涛,王军平. 隐爆角砾岩型金矿床中黄铁矿的标型 特征[J]. 黄金, 2012, 33(10): 19-20.
- LI Zhiguo, ZENG Xiangtao, WANG Junping. Typomorphic characteristics of pyrite in cryptoexplosion breccia type gold deposits[J]. Gold, 2012, 33(10): 19–20.
- 路远发. Geokit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 459-464.
- LU Yuanfa. GeoKit-A geochemical toolkit for Microsoft Excel[J]. Geochimica, 2004, 33(5): 459–464.
- 罗镇宽,苗来成,关康.角砾岩型金矿床——一种值得重视的 金矿床类型[J].地质找矿论丛,1999,14(4):15-23.
- LUO Zhenkuan, MIAO Laicheng, GUAN Kang. Breccia-hosted Au deposit-An Au deposit type to which attention should be paid[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1999, 14(4): 15–23.
- 马丽艳,路远发,梅玉萍,等.湖南水口山矿区花岗闪长岩中的 锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].岩石学报,2006, 22(10):2475-2482.
- MA Liyan, LU Yuanfa, MEI Yuping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granodiorite from Shuikoushan ore-field, Hunan province and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2475–2482.
- 毛光武, 严卸平, 舒文辉, 等. 隐爆角砾岩型金矿床的研究进展 [J]. 地质找矿丛论, 2016, 31(3): 396-408.
- MAO Guangwu, YAN Xieping, SHU Wenhui, et al. Research progresses on cryptoexplosion breccias type gold deposits[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2016, 31(3); 396–408.
- 表玉华, 严海麒. 河南省嵩县前河金矿床黄铁矿的标型特征及 其意义[J]. 地质与勘探, 2006, 42(3): 56-60.
- PEI Yuhua, YAN Haiqi. Typomorphic characteristics of pyrite and it' s practical significance in the Qianhe gold deposits, Song country, Henan province[J]. Geology and Prospecting, 2006, 42(3): 56–60.
- 彭丽娜,魏俊浩,孙晓雁,等.浙东南怀溪铜金矿床黄铁矿标型 特征及其地质意义[J].地质与勘探,2009,45(5):577-587.
- PENG Lina, WEI Junhao, SUN Xiaoyan, et al. Typomorphic Characteristics of Pyrites in the Huaixi copper-gold deposit Southeastern Zhejiang Province and its Geological Significance[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(5): 577–587.
- 戚长谋,邹祖荣,李鹤年.地球化学通论[M].北京:地质出版社, 1994.
- QI Changmou, ZOU Zurong, LI Henian. General theory of geochem-

istry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.

- 卿敏,韩先菊.隐爆角砾岩型金矿研究述评[J].黄金地质,2002, 8(2):1-7.
- QING Min, HAN Xianju. A Commentary of Cryptoexplosion Breccia Type Gold Deposits [J]. Gold Geology, 2002, 8(2): 1–7.
- 全铁军,曾维平.水口山矿田找矿历史回顾及新一轮老矿山找 矿方向[J].国土资源导刊,2006,(3):70-74.
- QUAN Tiejun, ZENG Weiping. The historical review of Shuikoushan ore field and the prospecting direction of a new round of old mines[J]. Land & Resources Herald, 2006, (3): 70–74.
- 宋保昌,张宝林,王杰,等. 隐爆角砾岩型金矿的成矿机理探讨 [J]. 矿床地质, 2002, 21(S1): 662–665.
- SONG Baochang, ZHANG Baolin, WANG Jie, et al. Discuss on Minerogenesis Mechanism of Crypto-explosion Type Gold Deposit[J]. Mineral Deposit, 2002, 21(S1): 662–665.
- 沈能平,彭建堂,袁顺达,等.湖北徐家山锑矿床铅同位素组成 与成矿物质来源探讨[J].矿物学报,2008,28(2):169-176.
- SHEN Nengping, PENG Jiantang, YUAN Shunda, et al. Lead isotope compositions and its significance for ore-forming material of the Xujiashan antimony deposit, Hubei province[J]. Acta Mineralogica, 2008, 28(2): 169–176.
- 唐菊兴.含金热液隐爆角砾岩的特征及研究意义[J].成都理工 学院学报,1995,22(3):59-64.
- TANG Juxing. Characteristics and study significance of gold-bearing hydrothermal cryptoexplosion breccias [J]. Journal of Chengdu institute of Technology, 1995, 22(3): 59–64.
- 王冰生. 金的成色研究及其地质意义[J]. 铀矿地质, 1994, 10(2): 93-96.
- WANG Bingsheng. A study of fineness of gold and its geological significance[J]. Uranium Geology, 1994, 10(2): 93–96.
- 王照波. 隐爆岩及其形成模式探讨[J]. 地质找矿丛论, 2001, 16(3): 201-205.
- WANG Zhaobo. Discussion of crytoexplosive rocks and the formation model[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2001, 16(3); 201–205.
- 吴开兴,胡瑞忠,毕献武,等.矿石铅同位素示踪成矿物质来源 综述[J].地质地球化学,2002,30(3):73-81.
- WU Kaixing, HU Ruizhong, BI Xianwu, et al. Ore lead isotopes as a tracer for ore-forming material sources: A review[J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(3): 73–81.
- 徐文忻.我国锡矿床的同位素地球化学研究[J].矿产与地质, 1995,45(1):1-11.
- XU Wenxin. Isotopic geochemistry of tin deposits in China[J]. Mineral Resources and Geology, 1995, 45(1): 1–11.
- 杨前进,丰成友,姬金生.东天山康古尔塔格金矿床黄铁矿的标 型特征及找矿意义[J].地质与勘探,1999,35(3):21-23.
- YANG Qianjin, FENG Chengyou, JI Jingsheng. The typomorphic

characteristic of pyrite from kanggultage gold deposit and the significance to Au ore prosperting[J]. Geology and Prospecting, 1999, 35(3): 21–23.

- 闫升好.甘肃大水特大型富赤铁矿硅质岩型金矿床成因研究 [D].北京:中国地质科学院研究生部,1998.
- YAN Shenghao. Studies on the genesis of Dashui superlarge hematiterich silicalitetype gold ore deposit in Gansu Province[D]. Beijing: Graduate Department of Chinese Academy of Geological Sciences, 1998.
- 杨勇,罗泰义,黄智龙,等.西藏纳如松多银铅矿 S、Pb 同位素 组成:对成矿物质来源的指示[J].矿物学报,2010,30(3): 311-318.
- YANG Yong, LUO Taiyi, HUANG Zhilong, et al. Sulfur and Lead Isotope Compositions of the Narusongduo Silver Zinc-Lead Deposit in Tibet: Implications for the Sources of Plutons and Metals in the Deposit[J]. Acta Mineralogica, 2010, 30(3): 311–318.
- 银剑钊, 王敏初. 湖南省水口山矿田龙王山金矿床地质特征及成因[J]. 黄金地质科技, 1993, (37): 46-50.
- YIN Jianzhao, WANG Minchu. Geological characteristics and genesis of Longwangshan gold deposit in Shuikoushan ore field, Hunan Province[J]. Gold Geology and Technology, 1993, (37): 46–50.
- 尹利君,刘继顺,刘卫明,等.冀东唐杖子金矿:一个典型的隐爆 角砾岩型金矿[J].地质与勘探,2013,49(6):1098-1107.
- YIN Lijun, LIU Jishun, LIU Weiming, et al. The Tangzhangzi gold deposit in Eastern Hebei Province-A typical cryptoexplosive breccia-type gold deposit[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(6): 1098–1107.
- 张理刚.稳定同位素在地质科学中的应用[M].西安:陕西科学 技术出版社,1985.
- ZHANG. Application of stable isotopes in geological sciences[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1985.
- 朱炳泉,李献华,戴橦谟.地球科学中同位素体系理论与应用-兼论中国大陆地壳演化[M].北京:科学出版社,1998.
- ZHU Bingquan, LI Xianhua, DAI Tongmo. Isotope system theory and application in earth sciences-with discussion on crustal evolution in mainland China[M]. Beijing: Science Press, 1998.
- 左昌虎,路睿,赵增霞,等.湖南常宁水口山 Pb-Zn 矿区花岗闪 长岩元素地球化学,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位 素特征[J].地质论评,2014,60(04):811-823.
- ZUO Changhu, LU Rui, ZHAO Zengxia, et al. Characterization of Element Geochemistry, LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age, and Hf Isotope of Granodiorite in the Shuikoushan Deposit, Changning, Hunan Province[J]. Geological Review, 2014, 60(04): 811–823.