

# 学士学位论文

## 湖北省大冶市鸡冠咀铜金矿床 隐爆角砾岩特征及成因研究

学 号： 20191001289

姓 名： 陈淳怡

学 科 专 业： 资源勘查工程（工科基地班）

指 导 教 师： 谭俊 教授

培 养 单 位： 资源学院

二〇二三年五月

---

## 中国地质大学（武汉）学士学位论文原创性声明

本人郑重声明：本人所呈交的学士学位论文《湖北省大冶市鸡冠咀铜金矿床隐爆角砾岩特征及成因研究》，是本人在老师的指导下，在中国地质大学（武汉）攻读学士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果，对论文的完成提供过帮助的有关人员已在文中说明并致以谢意。

本人所呈交的学士学位论文没有违反学术道德和学术规范，没有侵权行为，并愿意承担由此而产生的法律责任和法律后果。

学位论文作者签名：

日 期：      年   月   日

## 摘 要

鸡冠咀铜金矿床产于鄂东南矿集区铜绿山矿田的西北端，西南端临近金牛火山断陷盆地，为铜绿山矿田重要的矽卡岩型铜金矿床，受到区域性构造控制。矿区深部发现了隐爆角砾岩，但目前尚未开展系统研究工作，对其与成矿之间的关系尚不清楚。全文以鸡冠咀铜金矿床隐爆角砾岩为研究对象，通过钻孔岩心编录、光薄片鉴定、电子探针主量元素测试、LA-ICP-MS 微区原位分析等方法，研究隐爆角砾岩的类型、空间分布和地球化学等特征，进而探讨其成岩成矿过程。论文取得如下进展：

(1) 鸡冠咀铜金矿床主要赋存于断陷盆地边缘，矿床内部构造较为复杂，主要有两期构造变，三级及次级构造为主要赋矿区域。矿区岩浆活动既有岩浆侵入又有火山喷发，矿区侵入岩以石英二长闪长岩，石英闪长岩为主，矿石构造主要为浸染状构造，块状构造；矿石结构主要有共结边结构、镶边结构、交代结构、等；赋矿围岩发育有明显的蚀变现象，表现为强烈的矽卡岩化、硅化、钾化等。根据手标本及镜下矿物共生组合、交代关系等，可将鸡冠咀铜金矿床成矿作用划为两期五个阶段。

(2) 根据宏观状态下角砾岩情况包括：角砾成分与围岩关系密切、角砾以棱角状为主、胶结物多以岩粉等组成等信息，将鸡冠咀地区角砾岩定为隐爆角砾岩。根据角砾岩物理特征、胶结物成分的差异，将鸡冠咀矿区隐爆角砾岩分为了两大类隐爆角砾岩：隐爆浆屑角砾岩、隐爆热液角砾岩。隐爆浆屑角砾岩发生在以气爆为前导的浆爆过程后，主要形成硫化物胶结角砾岩，后期热液注入，由于分异后热液的性质不同，因而形成不同的隐爆热液角砾岩包括：硅质胶结，红色铁氧化物胶结等。

(3) 分析了硫化物胶结隐爆角砾岩的地球化学特征并推测了隐爆角砾岩形成的深度及温压条件。电子探针主量元素分析结果显示，硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿总体 S/Fe 为 ( $\sim 1.15$ )， $S/Fe < 2$ ，总体表现为 Fe 亏损， $Fe/(S+As)$  介于  $0.85 \sim 0.87$ ，As 含量多数低于岩浆热液及火山热液型黄铁矿中 As 的含量 ( $1500 \times 10^{-6}$ )，显示其形成于中部环境。微量元素分析测试结果显示：硫化物胶结隐爆角砾岩中黄铁矿 Co/Ni 比值较为分散，总体介于  $0.05 \sim 3.54$  之间，显示中

低温特征，与前人资料吻合。黄铁矿中 Cu、Pb、Ag、As、Mo 等元素含量相对较高，W、Cd、Ge 等元素相对较低，且部分元素明显低于检出限。

（4）探讨了隐爆角砾岩的形成过程和与成矿带关系。岩浆上升，压力梯度和温度骤降，大量挥发份与气体析出，诱发气爆、熔浆隐蔽爆破，形成隐爆浆屑角砾岩，线状展布在封闭空间中，在逐渐远离隐爆中心的外围地区发育热液分异演变为不同性质的热液流体，包裹围岩及岩浆岩，形成不同胶结物成分的隐爆热液角砾岩。隐爆角砾岩在形成过程中同时伴随有成矿作用，黄铁矿显微结构显示存在多个世代，多期次的成矿热液流体沿构造裂隙侵位、富集、沉淀，最终形成隐爆角砾岩型矿体。

**关键词：**鄂东南；鸡冠咀铜金矿床；隐爆角砾岩；胶状黄铁矿

## Abstract

The Jiguanzui copper-gold deposit is produced in the northwest end of the Tonglvishan mining field in the southeast Eu mining area, and the southwest end is near the Jinniu volcanic fault basin, which is an important silica-type copper-gold deposit in the Tonglvishan mining field and is under regional tectonic control. Cryptogenic breccias have been found in the deep part of the mine area, but no systematic research work has been carried out yet, and the relationship between them and mineralization is still unclear. In this paper, we investigate the type, spatial distribution and geochemistry of cryptogenic breccias by drilling cores, optical thin section identification, electron microprobe primary element testing and LA-ICP-MS in situ analysis, and then explore their diagenetic processes. The following progresses were achieved in the thesis:

(1) The Jiguanzui copper-gold deposit is mainly located at the edge of the faulted basin, and the internal tectonics of the deposit is relatively complex, with two main phases of tectonic variations and tertiary and secondary structures as the main ore-bearing areas. The intrusive rocks in the mine area are mainly quartz diorite, etc, and the ore structure is mainly dipping structure; the ore structure mainly has co-integrated edge structure, rim structure, account structure, etc. The ore-bearing enclosing rocks have obvious alteration phenomena, showing strong silicification, silicification and potashification, etc. According to the hand specimens and the microscopic mineral syngenetic assemblages and account relationships, the mineralization of the Jiguanzui copper-gold deposit can be classified into two phases and five stages.

(2) Based on the macroscopic condition of the breccia, including the close relationship between the breccia composition and the surrounding rocks, the predominance of angular breccia, and the composition of the cemented material with rock powder, the breccia in the Jiguanzui area is classified as cryptogenic breccia. Based on the differences in physical characteristics and cement composition of the conglomerates, the conglomerates in the Cockscomb mine area are divided into two major types of conglomerates: conglomerate pulp chip conglomerates and

conglomerate hydrothermal conglomerates. Cryptogenic slurry chip breccia occurs after the gas explosion-led slurry explosion process, which mainly forms sulfide cemented breccia, and later hydrothermal fluid injection, which forms different cryptogenic hydrothermal breccia including: siliceous cemented, red iron oxide cemented, etc. due to the different nature of hydrothermal fluid after differentiation.

(3) The geochemical characteristics of sulfide-cemented cryptoblastic breccias are analyzed and the depth and temperature and pressure conditions of the formation of cryptoblastic breccias are inferred. The results of the electron microprobe principal element analysis show that the overall S/Fe of the sulfide-cemented cryptogenic breccia pyrite is ( $\sim 1.15$ ), with  $S/Fe < 2$ , showing an overall Fe deficit,  $Fe/(S+As)$  between 0.85 and 0.87, and As content mostly lower than that of magmatic and volcanic hydrothermal pyrite (1500ppm), indicating that it formed in a central environment. The results of trace element analysis show that the Co/Ni ratios of pyrite in sulfide cemented cryptoblastic breccias are scattered and generally range from 0.05 to 3.54, indicating a low to medium temperature characteristic, which is consistent with previous data. Pyrite has relatively high contents of Cu, Pb, Ag, As and Mo, and relatively low contents of W, Cd and Ge, and some elements are obviously below the detection limits.

(4) The formation process of cryptoblastic breccia and its relationship with the mineralized zone are discussed. As the magma rises, the pressure gradient and temperature plunge, large amounts of volatiles and gases precipitate, inducing airbursts and molten magma concealed blasts, forming concealed blast breccias, spreading linearly in enclosed spaces, and developing hydrothermal differentiation into hydrothermal fluids of different properties in peripheral areas gradually away from the concealed blast center, wrapping surrounding rocks and magmatic rocks, forming concealed blast hydrothermal breccias of different cement compositions. The formation of cryptoblasted breccias was accompanied by mineralization, and the microstructure of pyrite shows the existence of multiple generations and phases of mineralizing hydrothermal fluids along the tectonic fissures to intrude, enrich, and precipitate, eventually forming cryptoblasted breccia-type ore bodies.

**Key Words:** Southeast Hubei ; Jiguanzui copper gold deposit ; Cryptoexplosive breccia ; Colloidal pyrite

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 选题来源及研究意义 .....	1
1.1.1 选题来源及目的 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	1
1.2 选题研究现状及存在问题 .....	2
1.2.1 隐爆角砾岩的研究现状 .....	2
1.2.2 鄂东南地区隐爆角砾岩研究进展 .....	3
1.2.3 鸡冠嘴矿床研究现状及问题 .....	3
1.3 研究思路与主要工作量 .....	4
1.3.1 研究思路及方法 .....	4
1.3.2 技术路线 .....	5
1.3.3 完成工作量 .....	5
第二章 区域地质背景 .....	7
2.1 大地构造背景 .....	7
2.2 区域地层 .....	8
2.3 区域构造 .....	10
2.3.1 印支运动 .....	10
2.3.2 燕山运动 .....	10
2.4 区域岩浆岩 .....	11
2.4.1 侵入岩 .....	11
2.4.2 火山岩 .....	12
2.5 区域矿产 .....	12
第三章 矿区地质特征 .....	14
3.1 地层 .....	15
3.2 构造 .....	16
3.3 岩浆岩 .....	16
第四章 矿体地质特征 .....	19
4.1 矿体特征 .....	19

4.2 矿石特征 .....	21
4.2.1 矿石类型 .....	21
4.2.1 矿石组成 .....	21
4.2.2 结构构造 .....	22
4.3 围岩蚀变 .....	24
4.3.1 蚀变类型 .....	24
4.3.2 宏观特征 .....	25
4.3.3 微观特征 .....	26
4.4 成矿期次与成矿阶段 .....	26
第五章 隐爆角砾岩特征 .....	29
5.1 隐爆角砾岩空间分布 .....	29
5.2 隐爆角砾岩的类型及岩石学特征 .....	31
5.2.1 隐爆浆屑角砾岩 .....	31
5.2.2 隐爆热液角砾岩 .....	32
5.3 隐爆角砾岩中的胶状黄铁矿 .....	33
5.4 隐爆角砾岩黄铁矿矿物化学特征 .....	34
5.4.1 样品采集 .....	34
5.4.2 分析测试 .....	34
5.4.3 测试结果 .....	35
第六章 隐爆角砾岩成因 .....	42
6.1 隐爆角砾岩形成条件 .....	42
6.1.1 构造圈闭 .....	42
6.1.2 隐爆深度 .....	43
6.1.3 温压条件 .....	43
6.2 隐爆角砾岩热液流体性质 .....	44
6.3 隐爆角砾岩形成过程 .....	45
6.4 隐爆角砾岩演化过程 .....	45
6.5 隐爆角砾岩与成矿的关系 .....	47
第七章 结论及存在问题 .....	48
7.1 论文结论 .....	48
7.2 存在的问题与不足 .....	49
致谢 .....	50
参考文献 .....	51

## 第一章 绪论

### 1.1 选题来源及研究意义

#### 1.1.1 选题来源及目的

论文选题来源于导师谭俊教授与湖北省地质局第一地质大队的合作项目《湖北省大冶市鸡冠咀-桃花嘴矿区深部三维综合信息模型构建与找矿预测》。该项目提供了大量的科研资料以及坚实的科研支撑，以鸡冠咀隐爆角砾岩为研究对象，通过详细的野外地质填图、钻孔岩芯编录等工作，基本查明矿区隐爆角砾岩的类型、空间分布特征。在此基础上，对典型隐爆角砾岩样品开展光薄片鉴定，重点针对其中存在的胶状黄铁矿开展了详细的岩相学观察和主微量测试等工作，初步论述了隐爆角砾岩中胶状黄铁矿的成因，结合前人研究成果，探讨隐爆角砾岩的形成过程及与成矿之间的关系。

#### 1.1.2 研究意义

长江中下游成矿带作为我国主要的铜铁金多金属成矿带之一，多金属矿床成因类型有如：斑岩型，矽卡岩型等多种类型。鄂东南矿集区已探明铜绿山，鸡冠咀，石头咀等大中型铜多金属矿床，作为目前最重要的铁金矿集区之一。

鸡冠咀铜金矿床为鄂东南矿集区内重要的矽卡岩型铜金矿床，矿床的成矿背景优越。前人对鸡冠咀矿床的矿物学，构造，蚀变矿物分带，地球化学，成矿流体特征，矿床成因，成矿规律等方面均进行过相关研究<sup>[1-5]</sup>，但对于矿区深部发现的隐爆角砾岩的研究较少。程佳敏（2021）报道了鸡冠咀火山角砾岩中各种角砾的岩性和矿化特征，其中火山角砾岩能较好地保存来自地下火山通道周围的岩浆岩碎块，但并未提及隐爆角砾岩的形成。而刘继顺等（2005）针对鄂东南铜绿山矿床为隐爆角砾岩型金(铜)矿开展了系列工作，郭纯智等（2007）针对鸡冠咀矿床不同类型矿体进行了分析，其中包括局部隐爆角砾岩矿体信息，但未曾对其中隐爆角砾岩部分开展系统性的研究工作。隐爆角砾岩是在岩浆上升至浅成-超浅成处爆破而形成的一套岩性组合，高裂隙度、高孔隙率为含矿热液提供了良好的通道等，隐爆角砾岩型矿是金、铜等矿产的重要类型<sup>[4,6]</sup>，在鸡冠咀矿床中的

隐爆角砾岩记录了含气热液演化过程，对成矿找矿信息均具有指导意义。

除此之外，隐爆角砾岩是角砾岩中的一种特殊类型，其成岩作用常常伴随热液成矿作用<sup>[7]</sup>，鸡冠咀矿集区是鄂东南地区典型的热液型矽卡岩型矿床，关于鸡冠咀处圈定的隐爆角砾岩体，还未开展系统性研究，隐爆角砾岩体的空间分布、流体演化等特征是重要的信息，这些特征可以揭示不同流体的生成演化、蚀变矿化、成矿物理化学条件，如岩浆-热液流体和构造-热液流体等。

## 1.2 选题研究现状及存在问题

### 1.2.1 隐爆角砾岩的研究现状

不同类型隐爆角砾岩型矿床在国内已相继发现了并开展了研究。如赤峰陈家杖子隐爆角砾岩型金矿、河南祁雨沟隐爆角砾岩型金矿、福建宁德隐爆角砾岩型铜钨矿、甘肃茂岭隐爆角砾岩型铀矿、赣南牛形坝隐爆角砾岩型银金多金属矿区、豫西杜关隐爆角砾岩型锰银矿<sup>[8-16]</sup>。前人在隐爆角砾岩岩石学特征、蚀变矿化特征、构造形式、地球化学特征、找矿潜力评价、成岩成矿机制、隐爆模式等方面均作了大量工作。

隐爆角砾岩是一类由地下爆发作用形成的特殊岩石组合，定义为在深部中酸性岩浆上升侵位到一定深度时，岩浆或水热流体在封闭条件下，由于压力骤变，导致气体沸腾引发隐蔽爆发作用而形成的特殊岩石组合<sup>[7]</sup>。其形成机制其成因可分为：外因：外部物理化学条件的骤变。内因：大量挥发分的析出和聚集。有利的构造条件也是内外因素发挥作用必不可少的前提。起因：气流体在岩浆顶部析出、爆炸。

隐爆角砾岩构成的筒（体）状地质体为隐爆角砾岩筒<sup>[17]</sup>。周济元等（1998）<sup>[18]</sup>将隐爆角砾岩按结构、胶结物等特征分为五类：隐爆浆屑角砾岩类、隐爆热液角砾岩类等五种类型。国内主要提出“自下而上-顺次推进-多次叠加”的隐爆成筒模式和侧向隐爆模式。两种模式均与火山岩地区的岩浆侵入活动密切相关，前者多形成“有根”角砾岩筒，矿床顶部或外围地区可能出现脉型矿床，深部可能存在斑岩体；后者多为岩浆作用过程中形成的高热流体侧向运移到突变部位聚集发生隐爆作用形成，可能与深部侵入岩存在空间关系，但岩筒底部与围岩直接接触，表现出“无根”的特点。在高-中温热液型矽卡-铜金矿床中，隐爆角砾岩型矿化是在岩浆侵入作用下成矿热液演化晚期阶段形成的，时间上晚于矽卡岩型，但可叠加其上，常形成富铜金矿体，也可形成独立金矿体<sup>[7]</sup>。

除此之外,以西藏斯弄多银多金属矿床为例,已构成隐爆角砾岩研究体系系统,从圈定隐爆角砾岩到根据角砾岩物理特征、胶结物成分的差异划分不同类别热液隐爆角砾岩,对其中结构构造特征进行细致的研究,后结合隐爆角砾岩的地球化学特征,根据全岩地球化学分析结果指示周围氧化还原环境,其次查明不同类型隐爆角砾岩中的黄铁矿化学特征,分辨不同隐爆角砾岩中化学特征推测其中隐爆角砾岩形成的深度及温压条件,最终探讨隐爆角砾岩的成岩成矿过程。

### 1.2.2 鄂东南地区隐爆角砾岩研究进展

鄂东南地区燕山期具有多期多阶段岩矿形成机制,其中分布的六大岩体主要为复式岩体,岩浆多期侵入并伴随多期矿化,在成矿流体性质上,目前在前人的研究信息上鄂东南矿集区均一温度以中温为主,流体的物理化学性质在不同区域矿种上存在明显的区别,但总的来说具有高  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量。

鄂东南矿集区主要发育有斑岩型-矽卡岩型矿床,其中岩浆岩有明显的成矿专属性,局部区域发现有层状矿体及隐爆角砾岩矿体存在,刘继顺等(2005)提出在鄂东南区域的铜绿山矽卡岩型铜铁矿床中发现隐爆角砾岩型金(铜)矿体并对其金矿体的地质特征、空间展布、形成过程等进行了研究,最终得出隐爆角砾岩型金(铜)矿体,为叠加于矽卡岩型铜铁矿体上,是岩浆侵入后热液-构造演化的结果,两部分矿体展布近垂直。前期郭纯智等(2007)发现鸡冠咀地区角砾岩周围的石英正长闪长玢岩中常含有斑岩型矿体,推测这两者之间有非常密切的成因联系,分析了该隐爆角砾岩体的空间展布,推测了其中的形成机制,但并未展开系统研究。除此之外,张国胜等(2011)将本论文鸡冠咀隐爆角砾岩体部分区域作为了推覆构造局部含有角砾岩,并未解释为本论文的隐爆角砾岩体。

### 1.2.3 鸡冠咀矿床研究现状及问题

鸡冠咀矿床位于阳新岩体的西北角,同时也处于金牛盆地(又称为灵乡盆地)边缘,受火山岩及侵入岩两种岩浆岩的影响,矿区侵入岩年代学的研究表明具有3期岩浆侵位时间,持续时间从146~132 Ma,谢桂青等(2011)指出鄂东南地区铁铜金成矿模型进行了总结,认为前两期主要形成与侵入岩有关的斑岩-矽卡岩有关的矿化,第三期形成与侵入岩有关的矽卡岩铁矿及热液型金矿,成岩成矿带差异显示与岩石圈减薄和替换的大的动力学背景密切相关。除此之外,鸡冠咀部分岩浆活动至少有三期,其中早期为晚侏罗世(~145 Ma)的闪长玢岩,第

二期形成于早白垩世石英闪长岩（ $\sim 140\text{ Ma}$ ），第三期主要以闪长岩为主（侵位年龄为  $132\pm 4\text{ Ma}$ ）<sup>[1]</sup>。

根据鸡冠咀矿床流体包裹体的研究表明成矿流体不同成矿阶段热液均一温度与盐度有较大差别<sup>[1]</sup>，鸡冠咀矿床的层状矿石及矽卡岩型矿石均与阳新岩体及鄂东南地区其他同时代岩体及矿石的铅同位素组成一致，反映成矿物质来源于岩浆，且鸡冠咀铜金矿床在矿化蚀变特征、流体包裹体及稳定同位素组成等方面均与世界上其他地方典型的矽卡岩型铜金矿床相似，其中的层状铜金矿体主要赋存在碳酸盐岩地层，矽卡岩不发育。张伟（2015）指出，鸡冠咀矿床是由于富铜、金的富集地幔发生部分融入形成的氧化性岩浆侵位到碳酸盐地层中时，岩浆期后热液与碳酸盐岩发生交代反应，形成矽卡岩型铜金矿体，同时热液沿着层间滑动面形成其他型铜金矿体。

目前鸡冠咀矿床隐爆角砾岩体区域还未进行系统研究工作，需要利用更多数据信息研究隐爆角砾岩的类型、空间分布、岩石学、地球化学等特征，进而探讨隐爆角砾岩成岩过程，隐爆角砾岩形成时间及其与成矿过程关系等问题。

## 1.3 研究思路与主要工作量

### 1.3.1 研究思路及方法

本论文主要对鸡冠咀矿床典型的隐爆角砾岩样品进行光薄片鉴定、黄铁矿主微量测试等工作，查明鸡冠咀矿区内隐爆角砾岩的空间分布、岩石学、地球化学等特征，探讨不同类型隐爆角砾岩的成因及成矿之间的关系。思路方法如下：

#### （1）区域地质及矿区地质特征归纳

搜集区域和矿区地质资料，包括地质矿产分布图、钻孔资料、勘探图件以及前人研究成果，结合野外地质调查结果，分析鸡冠咀铜金矿床的成矿地质背景和成矿地质特征，总结矿床围岩蚀变特征，划分成矿期次。

#### （2）隐爆角砾岩岩石学特征

以鸡冠咀矿区中隐爆角砾岩为研究对象，通过开展钻孔岩芯编录及详细的岩相学观察，根据角砾岩物理特征、胶结物成分的差异等以上信息将鸡冠咀矿区隐爆角砾岩分为不同类别胶结隐爆角砾岩类型，归纳不同隐爆角砾岩的空间分布特征及各类空间上的分带特征，观察其中不同岩石学特征包括角砾及胶结物成分、结构构造、蚀变及矿化等方面的特征。

#### （3）隐爆角砾岩成矿演化过程

以隐爆角砾岩中的胶状黄铁矿为研究对象，通过电子探针及黄铁矿原位微量元素测试，研究隐爆角砾岩中胶状黄铁矿的成因及其与成矿之间的关系。同时结合前人资料，分析不同类型隐爆角砾岩形成的深度及温压条件、成矿流体性质等方面的差异，分析研究不同类型隐爆角砾岩的形成原因，探讨隐爆角砾岩与成矿的演化过程。

### 1.3.2 技术路线

论文主要针对鸡冠咀矿床深部隐爆角砾岩进行了详细的编录和野外调查，采集了典型岩石样品进行光薄片鉴定、黄铁矿原位微区微量元素测试分析等工作，查明矿区内隐爆角砾岩的空间分布、岩石学、地球化学等特征，探讨不同类型隐爆角砾岩的成因与成矿之间的关系。论文技术路线如（图 1-1）。

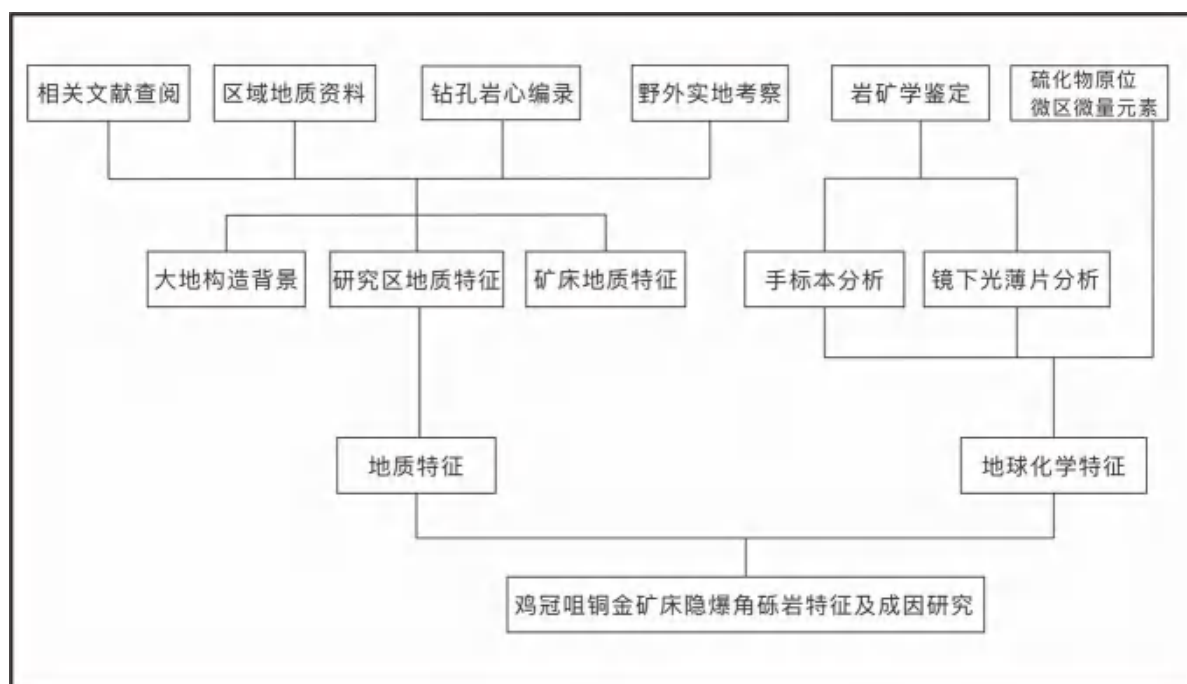


图 1-1 技术路线图

### 1.3.3 完成工作量

本论文完成工作量包括前期矿床野外勘查及采样，相关样品说明及处理，样品的镜下微观鉴定等相关资料归纳、讨论及论文选题的拟定及后续实验室数据处理等工作见（表 1-1）。

表 1-1 论文完成的具体工作量一览表

序号	项目	工作量	单位
1	文献阅读及资料收集	>50	篇
2	野外地质调查	20	天
3	矿石学、岩相学观察	20	天
4	样品采集	>30	件
5	照片采集	>100	张
6	光薄片鉴定	27	片
7	图件绘制	20	幅
9	电子探针分析	10	点
10	黄铁矿微量测试	14	点

## 第二章 区域地质背景

### 2.1 大地构造背景

长江中下游成矿带位于华北克拉通南缘，以秦岭-大别造山带为界，与北部华北克拉通，平行分布于襄樊-广济大断裂、郧庐大断裂和阳兴-常州大断裂的扬子板块东部北缘的长江断裂带内，空间上呈中间狭长、两端逐渐开阔的“V”字型地带，自西向东依次由鄂东南、九瑞、安庆、庐枞、铜陵、宁芜和宁镇七个矿集区组成如（图 2-1）。

长江中下游地区经历了晋宁期、印支期的板块构造运动和燕山期中生代大规模的岩浆活动，为长江中下游铜铁金多金属成矿带的形成提供了成矿场所和物质来源。地质历史发展从早期到晚期经历了三个主要构造运动：(1)前震旦纪发育基底阶段、(2)震旦纪-早三叠世盖层沉积阶段、(3)中晚三叠世-新生代板内变形阶段<sup>[19]</sup>。



图 2-1 长江中下游地区地质简图据<sup>[20]</sup>

鄂东南矿集区是长江中下游成矿带最西南的矿集区，处于隆起至凹陷过渡的沉积环境<sup>[21]</sup>。区域上南侧与扬子板块相接，以阳新一常州大断裂为限，北侧与秦岭一大别造山带相连，以襄樊—广济大断裂和郟庐大断裂为限<sup>[22]</sup>。

2.2 区域地层

鄂东南矿集区内出露的地层相对完整，区域内出露有晚元古代震旦系到新生界的第四系，仅缺失中泥盆统和下石炭统等地层<sup>[23]</sup>如（表 2-2）、（图 2-2）。

晚元古界震旦系莲沱组（Z<sub>1</sub>l）是区域内出露最古老的地层，岩性以砂砾岩为主；三叠系地层是该区内生金属矿床铁、铜矿的主要赋矿围岩，其中上三叠统（T<sub>3j</sub><sup>1w</sup>）王龙滩组在区域出露较为广阔，主要岩性为灰白色厚层状中粒长石石英砂岩<sup>[4, 22]</sup>。中三叠统-中白垩统呈不规则状产出于金山店和黄石周边，主要岩性为粉砂岩、细砂岩；第四系分布在区域的西北部，覆盖早期地层，主要岩性为砂及砾石等；上白垩统呈块状产出于区域东部，地层中同时出露长条状的基性的玄武岩岩体，主要分布在长江沿岸和阳新盆地及其附近地区，主要岩性为大寺组上端的含晶玻屑凝灰岩、流纹岩、英安岩、安山岩、凝灰岩、块状角砾岩、安玄岩、粗面岩、凝灰质粉砂岩等；第四系分布于低洼地段。

本区与成矿有关地层为奥陶系、石炭系、二叠系和下三叠统碳酸盐岩，其中三叠系中下统大冶群是鄂东南地区与铁、铜成矿最密切的围岩<sup>[1, 3, 24]</sup>。

表 2-1 鄂东南地区地层简表

界	系	统	组	代号	岩性描述
新生界	第四系			Q	砂及砾石、亚砂、砂、粘土
	古近系	下统	公安寨组	K <sub>2</sub> E <sub>1</sub> g	泥岩、粉砂岩、砂岩、砂砾岩
中生界	白垩系	上统	大寺组	K <sub>1</sub> d	含晶玻屑凝灰岩、流纹岩、英安岩、安山岩、凝灰岩、块状角砾岩、安玄岩、粗面岩、凝灰质粉砂岩
		下统			
			灵乡组	K <sub>1</sub> l	粉砂岩夹火山岩及砂砾岩、泥灰岩
	侏罗系	上统	马架山组	J <sub>3</sub> m	霏细岩、流纹质角砾岩、角砾集块岩
		中统	花家湖组	J <sub>2</sub> h	粉砂质页岩、长石石英砂岩、砾岩
		下统	桐竹园组	J <sub>1</sub> t	灰绿色厚层状泥质粉砂岩

续表 2-1

	三叠系	上统	王龙滩组	$T_3j^1w$	灰白色厚层状中粒长石石英砂岩
		中统	九里岗组	$T_2j^1$	粉砂岩、粉砂质页岩、炭质页岩
			蒲圻组	$T_2p$	粉砂质页岩、粉砂岩、细砂岩
			嘉陵江组	$T_{1-2j}$	白云岩、白云质灰岩、盐溶角砾岩
		下统	大冶组	$T_1d$	灰岩、白云质灰岩、含泥质灰岩或页岩
晚古生界	二叠系	上统	大隆组	$P_3d$	硅质页岩夹炭质页岩
			下窑组	$P_3x$	白云岩、生物灰岩
			龙潭组	$P_3l$	炭质页岩夹煤线
		中统	孤峰组	$P_2g$	硅质岩
			茅口组	$P_2m$	含燧石结核生物灰岩
			栖霞组	$P_2q$	含炭质似瘤状生物灰岩、含燧石结核灰岩
		下统	梁山组	$P_1l$	炭质页岩夹透镜状灰岩
	石炭系	上统	船山组	$C_3c$	球粒灰岩
		中统	黄龙组	$C_3h$	生物灰岩
			大埔组	$C_3d$	白云岩
	泥盆系	上统	云台观组	$D_{2-3y}$	石英砂岩夹页岩
早古生界	志留系	上统	茅山组	$S_3m$	石英砂岩夹粉砂岩
		中统	坟头组	$S_2f$	泥质粉砂岩、细粒砂岩、页岩、泥岩
		下统	新滩组	$S_{1x}$	页岩、粉砂质页岩
	奥陶系	上统	龙马溪组	$O_3-S_1l$	页岩、硅质岩、硅质页岩
		中统	宝塔组	$O_{2-3b}$	龟裂纹灰岩、瘤状泥质灰岩
		下统	牯牛潭组	$O_1g$	灰岩与瘤状泥质灰岩互层
			大湾组	$O_1d$	瘤状生物灰岩夹泥岩、泥灰岩
			红花园组	$O_1h$	灰岩、生物碎屑灰岩、下部偶夹页岩
			南津关组	$O_1n$	生物碎屑灰岩、白云岩、灰岩夹页岩
	寒武系	上统	娄山关组	$\epsilon_2-O_1$	微-细晶白云岩、泥质白云岩夹角砾状白云岩
		中统			

续表 2-1

晚元古界	震旦系	下统	石龙洞组	$C_{1sl}$	白云岩，上部含少量钙质及燧石团块
			天河板组	$C_{1t}$	泥质条带灰岩夹页岩及鲕状灰岩
			石牌组	$C_{1s}$	粘土岩、砂质页岩、细砂岩、生物碎屑灰岩
			牛蹄塘组	$C_{1n}$	炭质页岩夹含炭质粉砂岩、粉砂质泥岩
		上统	灯影组	$Z_2-C_{1d}$	内碎屑白云岩、含沥青质灰岩、含燧石条带白云岩
			陡山沱组	$Z_2d$	白云岩、含粉砂白云岩、炭质页岩
			南沱组	$Z_{1n}$	灰绿色、紫红色冰碛泥砾岩
			莲沱组	$Z_{1l}$	砂砾岩、含砾粗砂岩、细砂岩夹凝灰岩

2.3 区域构造

鄂东南矿集区主要分布：襄樊-广济断裂，呈北西向、麻团断裂呈北北东向、高桥-阳新断裂，呈近东西三条深大的断裂带，平面呈近三角形。构造演化史：从晋宁运动，形成基底此后又经历了多次构造运动如：印支期、燕山期等。

主要的构造运动包括褶皱和断裂多为印支运动（257~205 Ma）和燕山运动（200~134 Ma）的产物，其他时期的构造运动规模和强度都较小（图 2-2）。

2.3.1 印支运动

印支运动不仅使该地区海相沉积地层自古生代起不断升高，并受到风化剥蚀而转变为陆相沉积。北西西走向的构造为一系列复式褶皱和断裂以及强烈的逆冲推覆构造，形成隆坳地形，伴有一系列的走滑断层，奠定了本区的基本构造格架<sup>[1]</sup>，对区域岩浆岩和矿床分布起到控制作用。

2.3.2 燕山运动

燕山期运动产生的构造形迹，主要受西北部和东南部的郧庐断裂和麻团断裂左行剪切作用的区域上控制，两者均呈北北东向。侏罗-白垩纪地层的展布和岩体的产状以及脉岩、矽卡岩和主要铁铜矿床的分布，由一些列规模相对较小的褶皱和断裂构造以及岩浆侵入构造主要控制<sup>[25]</sup>。燕山期晚期形成矿内主要的北西向断裂，改造了印支期断裂形成部分北西西向断裂，后受原有麻团断裂及郧庐断

裂的影响，区域北东向的走滑断层发育。该期形成了大量控岩一控矿构造和大量中酸性岩浆岩<sup>[26]</sup>。



图 2-2 鄂东南区域地质图图据<sup>[27]</sup>

## 2.4 区域岩浆岩

鄂东南矿集区岩浆分布广泛，出露面积较大，既有岩浆活动多期次侵入，又有火山多阶段喷发<sup>[28]</sup>。受印支期所形成的构造格局控制，主要呈 NW-SE 向展布，喷出岩、侵入岩在空间时间上分布以及形态具有规律性，以先侵入后喷发占大多数。区域上燕山期岩浆活动较为强烈，出露广泛，对区域的成矿作用起到较强的控制作用。

### 2.4.1 侵入岩

鄂东南矿集区内侵入岩整体侵位时间较早、持续时间较长(约 155 ~ 125 Ma)，六大侵入岩体，出露面积占全区总面积高达 17%。侵入岩体自北向南，

主要有鄂城、铁山、金山店、灵乡、阳新、殷祖六大岩体，其中燕山期的中酸性侵入岩具有埃达克质岩的地球化学特征，燕山早期侵入岩体由闪长岩类岩石组成，燕山晚期侵入体主要由花岗岩类岩石组成。

鄂城（（斑状）石英二长岩-花岗（斑）岩），其中鄂城岩体北缘晚期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $121.2 \pm 3.1\text{Ma}$ 、铁山（正长闪长岩-透辉石正长闪长岩-石英正长闪长玢岩）、金山店（石英正长闪长岩-闪长玢岩），其中金山店铜铁多金属矿床的成矿时代分别为  $144.0 \pm 2.1\text{Ma}$ 、 $143.6 \pm 1.7\text{Ma}$ 、 $132.6 \pm 1.4\text{Ma}$  和  $131.6 \pm 1.2\text{Ma}$ 。灵乡（闪长玢岩-花岗斑岩）、阳新（石英正长闪长岩），其中阳新石英闪长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $138.9 \pm 2.8\text{Ma}$  及殷祖（黑云母石英正长闪长岩）等六大杂岩体，岩性以中性成分为主，酸性成分主要位于鄂城岩体。除此以外，区域内花岗斑岩等小岩体若干个，约  $140.6 \pm 2.4\text{Ma}$ <sup>[4, 29]</sup>。

## 2.4.2 火山岩

鄂东南矿集区内火山作用相对较晚且更集中（约  $132 \sim 123\text{Ma}$ ）<sup>[30, 31]</sup>，主要形成西侧大型金牛火山盆地（地表面积超过  $200\text{km}^2$ ），火山岩主要分布于保安-太和-灵乡一带和黄石花湖一带<sup>[30]</sup>，其中金牛盆地火山岩的年龄为  $130 \sim 125\text{Ma}$ <sup>[21]</sup>。

岩性特征为双峰式火山岩，主要为流纹岩，玄武岩次之。锆石 U-Pb 定年显示，马架山组、灵乡组的喷发时间约为  $125 \sim 130\text{Ma}$ 。与形成鄂城和金山店复式岩体主体岩性的时代相吻合。研究还表明，其中的玄武岩与世界范围内富 Nb 玄武岩特征一致，起源于富集地幔，后推测经历少量的地壳同化混染<sup>[1]</sup>。

## 2.5 区域矿产

鄂东南矿集区以铁、铜、金、钨、钼、铅、锌等金属为主，与之伴生的主要有益元素有钴、银、镍等，已发现的金属矿产种类较多，是我国有色金属生产的重要矿产资源基地之一<sup>[25]</sup>。

鄂东南矿集区以伴生金矿化为主，其中金矿床或伴生金矿床为鸡冠咀铜金矿床、铜绿山 Fe-Cu-Au 矿床等。矿化类型主要为以下两种：一是与花岗闪长斑岩（ $141 \sim 147\text{Ma}$ ）相关的斑岩-矽卡岩型铜金钨钼矿床，二是与闪长岩-石英闪长岩（ $136 \sim 143\text{Ma}$ ）相关的矽卡岩型铜铁金矿床<sup>[25, 29, 31]</sup>。

鄂东南矿区的金属矿床普遍上与侵入岩体之间，总体上具有有较高的关联度。在区内六大侵入岩体中，除殷祖岩体外，其他五个岩体均伴生有重要的金属矿床，

整体上，以“南铜北铁”为分布特征，基于深部地幔形态差异导致的基底及盖层岩石岩性特征的差异。矿体总体空间展布受岩浆岩体的控制，多在岩体内部或岩体接触带部分成群分布，矿田之间具有近似等距分布特征<sup>[25]</sup>。

第三章 矿区地质特征

鸡冠咀铜金矿床地理位置位于大冶市西边，西南缘靠近金牛火山岩（又称灵乡火山岩）盆地、大冶复式向斜南翼，毗邻铜绿山铜铁（金）矿床，位于鄂东南矿集区的西北部。控制了岩浆活动与成矿作用是矿区内北北东向与北西西向构造。区内主要出露三叠系、白垩系、第四系的地层，与矿体关系最密切地层为中下三叠统嘉陵江组，与成矿关系密切的岩体为石英二长闪长玢岩和石英闪长岩如（图 3-1） [1, 22, 25, 32, 33]。

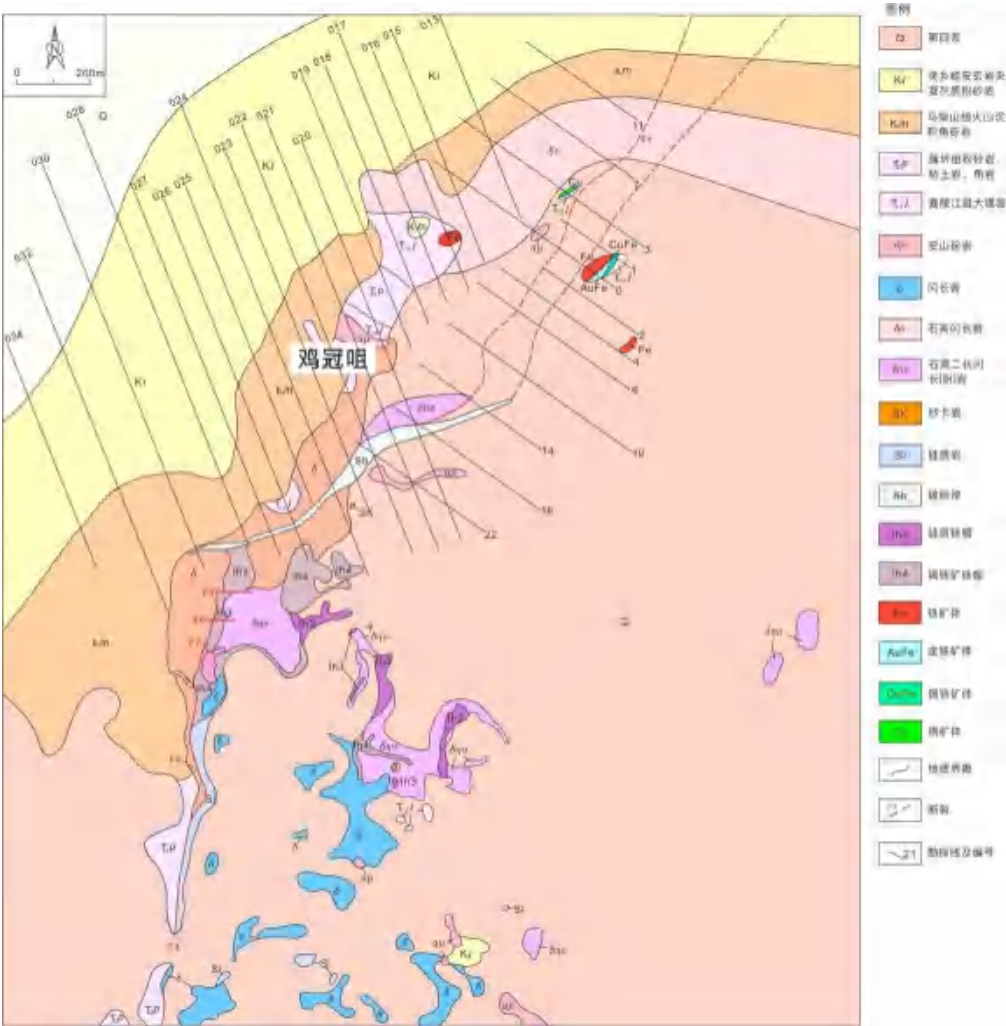


图 3-1 鸡冠咀矿床地质平面简图（据地质队资料）

### 3.1 地层

鸡冠嘴铜金矿床区内主要出露三叠系、白垩系和第四系的地层，由老到新，依次主要为中下三叠统嘉陵江组（ $T_{1-2j}$ ）大理岩、中三叠统蒲圻组（ $T_{2p}$ ）粉砂岩、下白垩统马架山组（ $K_{1m}$ ）流纹质角砾岩、下白垩统灵乡组（ $K_{1l}$ ）粉砂岩夹火山岩及砂砾岩等以及第四系（ $Q$ ）残坡积层等。各地层情况如下：

#### （一）中下三叠统嘉陵江组（ $T_{1-2j}$ ）

中下三叠统嘉陵江组（ $T_{1-2j}$ ）仅在鸡冠咀矿区中部向斜核部零星分布，主要分布于矿区地下深部，产状变化较大，大部分向北西倾斜，在某些剖面中可见上下重复出现，可能是构造运动造成的断层或褶曲。该组地层主要由三个岩性段组成，原岩均为灰岩，由于岩浆活动影响，均已变质形成各种大理岩，三个岩性段岩性从下到上依次为：

第一岩性段以大理岩为主；第二岩性段以具泥质条带、缝合线构造的灰白色-黄色薄-中厚层状大理岩为主；第三岩性段，全区分布最广，是该矿区主要的赋矿岩层，主要为浅灰-黄褐-肉红-灰白色薄-中厚层状白云大理岩。

#### （二）中三叠统蒲圻组（ $T_{2p}$ ）

三叠系中统蒲圻组（ $T_{2p}$ ）主要出露于矿区西北区域，由两段组成，下部以粉砂岩为主，上部以泥岩等为主，含钙结核较多，局部含泥质粉砂岩，对矿液提供屏蔽作用，并作为局部小矿体的赋存空间。厚度> 60m，与上覆地层为不整合接触<sup>[3]</sup>。

#### （三）下白垩统马架山组（ $K_{1m}$ ）

下白垩统马架山组（ $K_{1m}$ ）主要呈东北-西南向断续出露于鸡冠咀矿区中，出露面积较大，总体向北西倾斜，倾角自浅部至深部由陡倾变至低缓，走向北北东。该地层组岩性以火山沉积角砾岩为主，次为杂砂岩等。含有石英二长闪长岩、闪长岩等多种角砾及矿石，成分复杂。胶结物多为碳酸质，硅质等。火山角砾岩的基质呈红色和灰色，其中红色一般为凝灰质，以火山喷发产物为主，灰色一般为碳酸盐，以湖盆沉积物为主，两者的交替出现反映了火山喷发活动的间歇性。厚度约 64 ~ 505 m，与上覆地层为角度不整合。

#### （四）下白垩统灵乡组（ $K_{1l}$ ）

下白垩统灵乡组（ $K_{1l}$ ）主要出露于鸡冠咀矿区西北侧及西北部地下，该组岩层主要由安玄岩凝灰质粉砂岩、玄武岩、紫红色细砂岩、粉砂岩、粉砂质粘土岩等组成。

#### （五）第四系（ $Q$ ）

第四系（Q）在鸡冠咀矿区中广泛分布，北部与西部主要为湖积与冲-洪积粘土层，南部为冲积、冲洪积层及残坡积层，东部主要为冲积和残坡积层。岩性为亚粘土、砂砾石、碎石等<sup>[1]</sup>。

### 3.2 构造

鸡冠咀铜金矿床位于断陷盆地边缘，其构造较为复杂。整体上，在鸡冠咀矿区中主要有两期构造应力场所形成的构造变形，由四个隐伏背、向斜和四条断裂及断裂破碎带组成。

印支期形成的北西西-近东西向的褶皱与断裂，同时又发育有滑覆断层，这是基础构造<sup>[2]</sup>；燕山期形成的近直交叠加于北北东向的褶皱与断裂，主体是滑覆构造、北北东向构造，横跨叠置于三个北西西向背、向斜之上，严格控制了岩浆活动、矿化作用及矿床（体）的展布。由于燕山期岩浆岩活动剧烈，严重破坏区内的构造形态<sup>[1, 2, 32]</sup>。同时第四系广泛覆盖，因此，只能通过残存的构造形迹鉴定。矿体主要存在于北北东向断裂两侧的羽状裂隙、叠加背斜、滑覆背斜的核部。其中隐伏背斜：北北东向褶皱，长约 901m，宽 199~600m，北西倾伏，倾角 75°~80°<sup>[32]</sup>。长期受强烈的地壳构造活动和岩浆活动影响，严重破坏背斜核部，局部残留南东翼部分，主要的矿体产出区域，保存相对完整为北西翼部分。北北东向断裂-接触破碎带作为主要断裂构造，于隐伏背斜之上形成，控制矿床（体）整体展布。

### 3.3 岩浆岩

矿区岩浆活动复杂，包括岩浆侵入、火山喷发。侵入岩主要有石英二长闪长岩、石英闪长岩<sup>[5]</sup>，与成矿关系密切，大面积展布于矿区东南部，属于属阳新岩体：铜绿山石英二长闪长岩株。火山岩岩性较为复杂，以火山沉积角砾岩为主，于白垩纪喷出覆盖三叠系灰岩之上。

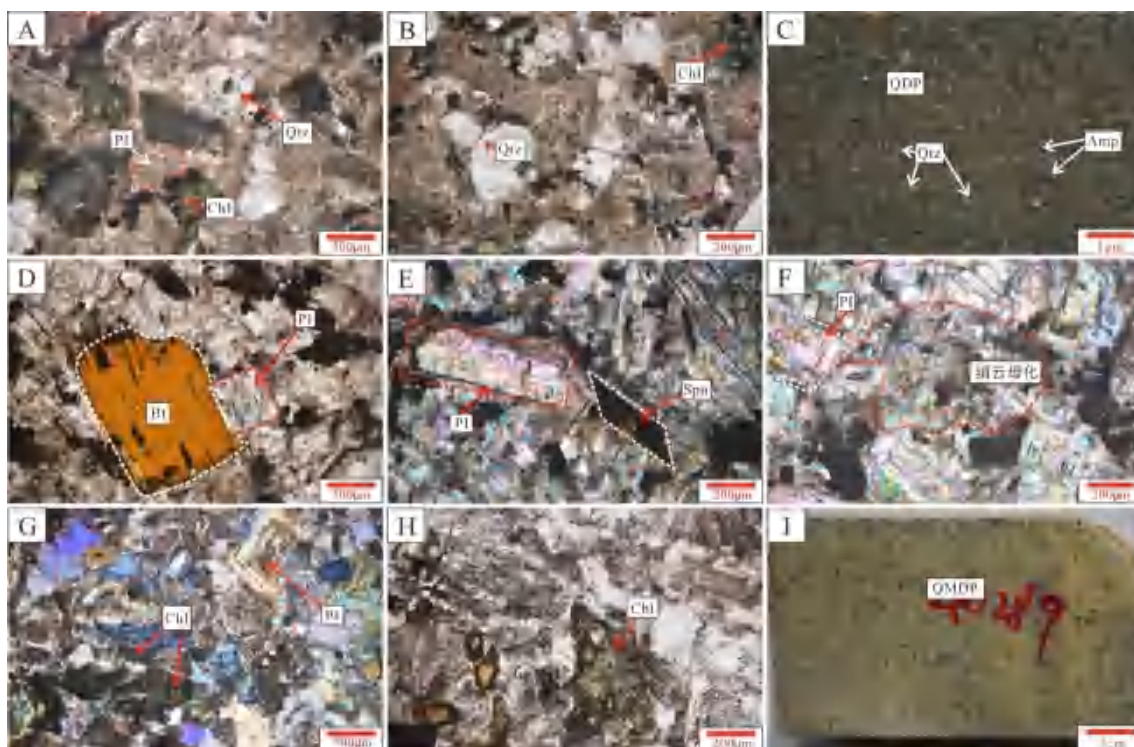


图 3-2 岩浆岩镜下及手标本

a. 石英闪长岩，镜下可见自形斜长石、交代产生的绿泥石；b. 石英闪长岩，镜下可见绿泥石、石英；c. 石英闪长岩手标本，可见角闪石、石英等矿物；d. 石英二长闪长岩，镜下可见黑云母及斜长石；e. 石英二长闪长岩；f. 石英二长闪长岩，镜下可见绢云母交代斜长石，呈鳞片状；g. 镜下可见环带状斜长石；h. 石英二长闪长岩，可见绿泥石化；i. 石英二长闪长岩手标本；Qtz 石英；Cal 方解石；Amp 角闪石；QDP 石英闪长岩；QMDP 石英二长闪长岩；Pl 斜长石；Bt 黑云母；Spn 榍石；Chl 绿泥石

### 石英闪长岩 ( $\delta\sigma$ )

主要分布于矿区北部和深部，浅灰色，具花岗结构，不等粒（图 3-2C），斜长石(64%)、石英（13%）、角闪石（2%）、辉石及黑云母等暗色矿物（1%）、局部见极少量钾长石。斜长石粒度为（ $\sim 0.2\text{mm}$ ），少数粒度为（ $\sim 2\text{mm}$ ）呈板状、宽板状，镜下常具环带、卡钠双晶（图 3-2A）；石英常未见晶形充填于斜长石间隙；黑云母呈长条状，部分已发生交代溶蚀。镜下局部可见绿泥石呈他形，被后期方解石等交代溶蚀（图 3-2B），角闪石为长柱状，横截面为菱形或截菱形，常为方解石等交代，保留其晶形，I 号矿体群及深部 VII 与该类岩石关系密切。

### 石英二长闪长岩 ( $\delta\eta\sigma$ )

为矿区主要岩浆岩，广泛分布，常呈灰绿色（蚀变下）如（图 3-2I），具斑状结构，花岗结构，等粒，主要由斜长石（67%）、石英（13%）、钾长石（12% $\pm$ ）、角闪石（0.5%）组成。斑晶主要为斜长石，少量石英。斜长石粒度为（ $\sim 0.3\text{mm}$ ），少量常呈板状，常见较密集的环境（图 3-2G），沿环带及其中

心易被绢云母等交代（图 3-2F），手标本中常见长柱状角闪石，保留晶形。基质主要为石英和钾长石，次为斜长石所组成，粒度为（ $\sim 0.1\text{mm}$ ）。II、III号矿体群与此类岩石较为密切。

#### 闪长岩（ $\delta$ ）

分布在矿区南部，深灰色、灰黑色，主要由斜长石、角闪石、石英等组成，局部发生透辉石化，不等粒状结构，块状构造。斜长石一般呈长  $0.1 \sim 3\text{mm}$  的板状、宽板状，常见环带、聚片双晶，角闪石大多呈黑色、长柱状。

#### 安山玢岩（ $\alpha\mu$ ）

零星分布于矿区东南部，此类岩石与金矿化关系密切，亦见铜矿化<sup>[5]</sup>。

## 第四章 矿体地质特征

### 4.1 矿体特征

鸡冠咀铜金多金属矿床受到区域性构造控制。矿体主要赋存在三级构造及次级构造之中，少量赋存在二级构造中<sup>[3]</sup>。其中鸡冠咀矿区内共发现 I、II、III、IV、VI、VII 六个主矿体群，现主要介绍其中 I、II、III、VII<sub>4</sub> 个主要矿体：

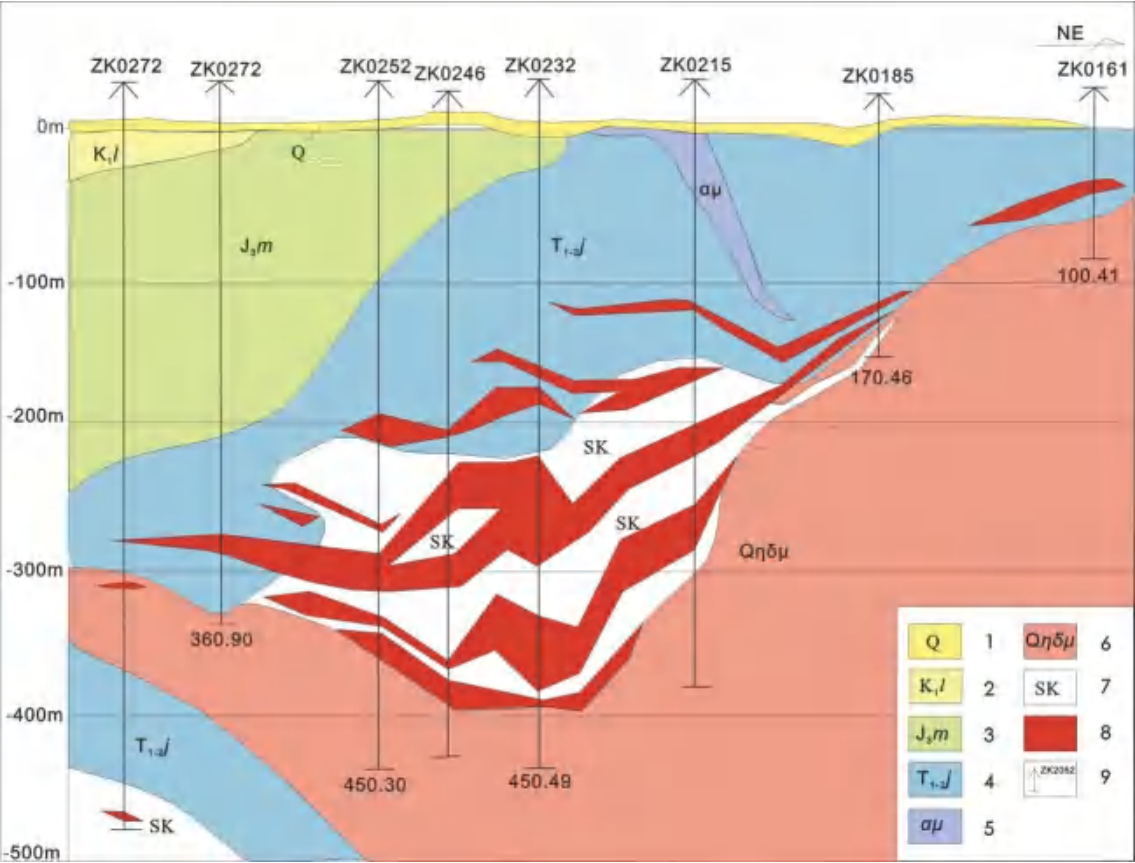


图 4-1 鸡冠咀矿床 III 号主矿体地质剖面图

1:第四系冲湖积层；2.下白垩统灵乡组；3.侏罗系上统马架山组；4.三叠系中统蒲圻组；  
5.安山玢岩；6.闪长岩；7.砂卡岩；8.矿体；9.钻孔

I 号矿体群：I 号矿体群埋深较浅，主要有 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>和 I<sub>3</sub>三个主矿体，与石英闪长岩关系密切，其中 I<sub>1</sub>号矿体赋存在嘉陵江组白云质大理岩层间破碎带

内，I<sub>2</sub>号矿体赋存在嘉陵江组白云质大理岩与石英闪长岩接触带内，I<sub>3</sub>号矿体赋存在接触带附近的石英闪长岩的裂隙内。

II号矿体群：II号矿体群埋藏较深，位于I号矿体群下部，主要有II<sub>1</sub>、II<sub>2</sub>、II<sub>3</sub>、II<sub>4</sub>四个主矿体，主要分布在嘉陵江组大理岩层间断裂破碎带以及矽卡岩体内：该处多为与石英二长闪长岩接触形成。

III号矿体群：III号矿体群埋藏深，主要有III<sub>1</sub>、III<sub>2</sub>、III<sub>3</sub>、III<sub>4</sub>四个主矿体，其中III<sub>1</sub>、III<sub>2</sub>号矿体赋存在嘉陵江组白云质大理岩、灰质白云石大理岩破碎带内，III<sub>3</sub>、III<sub>4</sub>号矿体赋存在嘉陵江组白云质大理岩与石英二长闪长岩的接触带附近。

VII号矿体群：VII号矿体群是鸡冠咀矿区深部近年来新发现的矿体，埋藏深，分布在III号矿体群的下部，从上至下分为三个分支矿体：VII<sub>1</sub>、VII<sub>2</sub>和VII<sub>3</sub>号矿体。

其中VII<sub>1</sub>号矿体赋存在蒲圻组粉砂岩与嘉陵江组白云质大理岩接触界面附近的层间破碎带内，该破碎带具有矽卡岩化，矿体分布具有不连续性，矿石类型主要为硫铁矿石，其次为铜矿石、金矿石、黄铁矿矿石等，局部见孔雀石化，矿石上下部分别为矽卡岩和大理岩。VII<sub>2</sub>号矿体赋存在嘉陵江组白云质大理岩的层间破碎带内，矿石类型主要为铜矿石、铜金矿石和硫矿石。VII<sub>3</sub>号矿体赋存在靠近嘉陵江组白云质大理岩和闪长岩接触带的大理岩内，矿石类型主要为铜矿石、铜金矿石和硫矿石。

表 4-1 矿体特征表

编号	矿体走向、倾向、形态分布	延伸长度 (m)
I <sub>1</sub>	矿体群走向为北东东，倾向为北西 以透镜状，似层状，藕节状为主	400
I <sub>2</sub>		420
I <sub>3</sub>		320
II <sub>1</sub>	矿体群走向为北东向，倾向为北西 以透镜状，扁豆状为主	150
II <sub>2</sub>		400
II <sub>3</sub>		120
II <sub>4</sub>		80
III <sub>1</sub>	矿体群走向为北东向，倾向为北西 以透镜状为主，局部呈马鞍状	670
III <sub>2</sub>		425
III <sub>3</sub>		300
III <sub>4</sub>		250
VII <sub>1</sub>	矿体走向为北北东，倾向为北西，厚度稳定 1.11m~28.63，平均厚度为 8.75m 剖面上呈薄板状、脉状	500
VII <sub>2</sub>	矿体走向为北北东，倾向为北西，北西部较陡，南西平缓，厚为 1.31~26.06m， 平均厚度为 7.36m 剖面上呈薄板状、脉状	600
VII <sub>3</sub>	矿体走向为北北东，倾向为北西，厚度 1.2~29.25m，平均厚度为 9.91m 矿体形态复杂，多呈分支板状，透镜状	500

## 4.2 矿石特征

### 4.2.1 矿石类型

鸡冠咀铜金矿床中矿石类型种类较多,前人多根据矿体的蚀变类型将矿石分为矽卡岩矿石和大理岩中的层状矿石两种,按照矿石的组合类型,可将常见的矿石类型主要有以下 7 种:铜矿石、铜金矿石、硫金矿石、硫铁矿石等。

### 4.2.1 矿石组成

#### (1) 金属矿物

通过大量手标本观察以及镜下光薄片鉴定可以总结出鸡冠咀铜金矿床金属矿物组成较为多样,主要由黄铁矿、黄铜矿组成,还有少量的赤铁矿、磁铁矿、辉钼矿、辉铜矿、斑铜矿以及少量细小的自然金等。

黄铁矿,是矿区主金属矿物,分布面积最大,是主要载金矿物之一。手标本可以见呈浸染状或细脉状分布在矽卡岩中的黄铁矿和呈致密块状黄铁矿矿石(图 4-3A),前者多为它形穿插于矽卡岩矿物中,矿石中含量相对较少,后者多与方解石等碳酸矿物共生,自形-半自形立方体为主。

黄铜矿是矿区铜矿的重要矿石矿物,矿区所观测到的黄铜矿多数为它形的粒状、浸染状、脉状、团块状、星点状的分布在石英闪长岩、石英二长闪长岩、矽卡岩矿物等中,也常与黄铁矿、斑铜矿等共生。

斑铜矿也是矿床最主要的铜金属矿石矿物之一,手标本上多氧化而呈现蓝紫的锈色,呈致密块状分布于矿石中,多于黄铜矿共生(图 4-3D)。

磁铁矿是矿区主要的铁氧化物之一,可见磁铁矿被后期的方解石等碳酸岩和褐铁矿明显交代,部分磁铁矿呈半自形-它形的分布于黄铜矿等矿石中。

辉钼矿在矿床中也较为常见,在透辉石矽卡岩中最为发育,多呈星点状、块,在镜下光薄片,多见辉钼矿交代黄铜矿后被辉铜矿交代,常呈镶边结构交代黄铜矿。

赤铁矿在矿床局部发育,其中重要集中于隐爆角砾岩处,多为集合体胶结物出在角砾岩及其岩石裂隙中,多为磁铁矿、黄铁矿发生氧化后的产物,所采样中以红色、呈致密块状为主。

#### (2) 脉石矿物

非金属矿物主要为方解石、石英、绢云母、斜长石、钾长石、石榴子石等,其次为阳起石、绿帘石,绿泥石、黑云母、透辉石等(图 4-4)。

## 4.2.2 结构构造

### (1) 矿石结构

鸡冠咀矿区矿石结构很丰富，主要有交代结构、镶边结构、共结边结构、出溶结构、碎裂结构、胶状结构等，各种矿石结构描述如下：

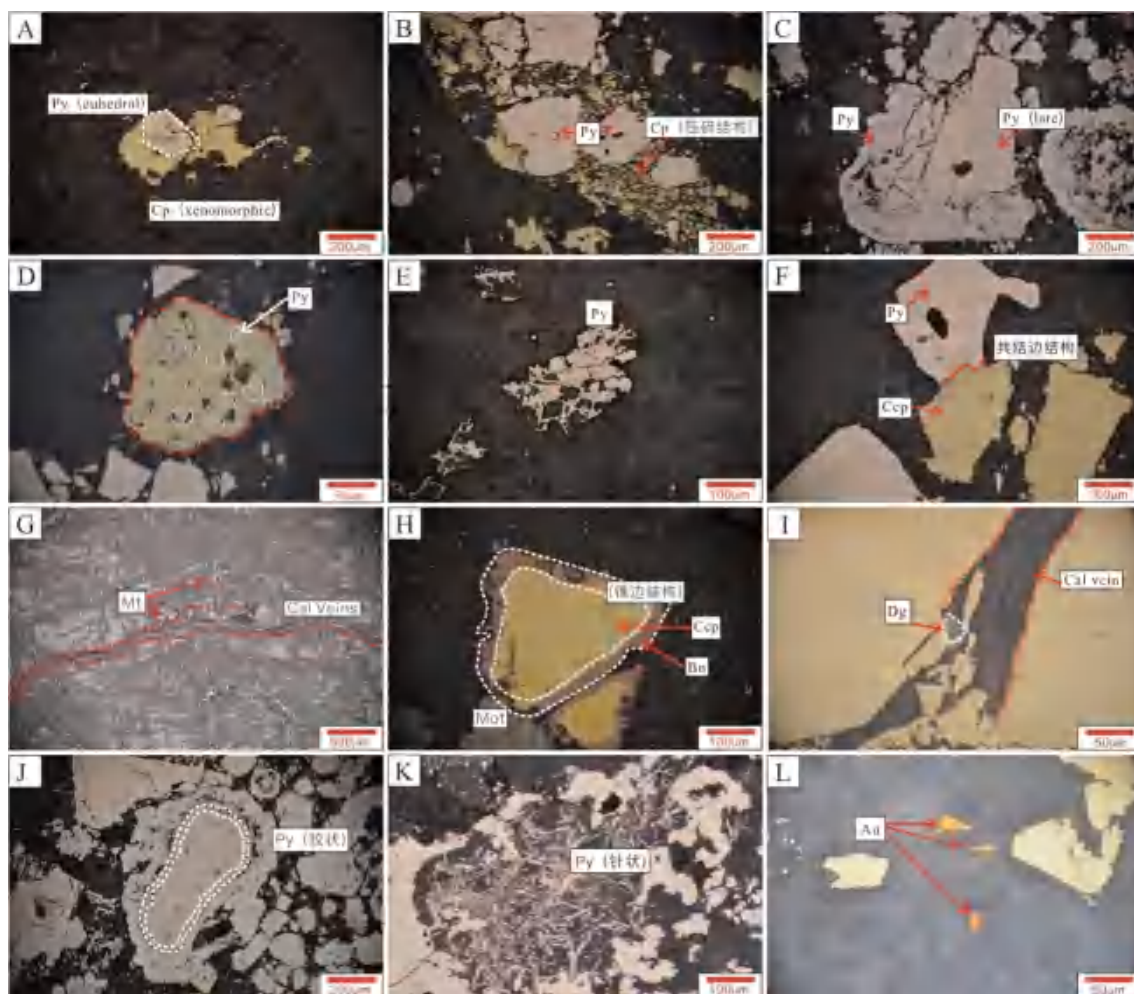


图 4-2 镜下矿石结构类型

a.镜下可见黄铁矿呈自形包含于黄铜矿中；b.半自形黄铁矿包含于碎裂的黄铜矿基质中，其中碎裂黄铜矿未见位移；c.不同期次黄铁矿，后期黄铁矿呈交代作用析出早期黄铁矿；d.黄铁矿中呈出溶结构浸染状析出的黄铜矿；e.黄铁矿被石英、方解石交代呈骸晶结构；f.黄铁矿与黄铜矿呈共结边结构；g.早生成的方解石、石英等的晶隙被晚生成的磁铁矿充填；h.斑铜矿沿黄铜矿边缘呈镶边状分布，后斑铜矿颗粒（肉红色）被辉钼矿（灰白色）交代，颗粒具明显的溶蚀边；i.镜下可见蓝辉铜矿；j.镜下可见胶状黄铁矿；k.镜下可见被后期黄铁矿交代溶蚀形成的针状黄铁矿；l.镜下可见半自形自然金；Py 黄铁矿；Mt 磁铁矿；Dg 蓝辉铜矿；Ccp 黄铜矿；Au 自然金；Cal veins 方解石脉；Bn 斑铜矿；euhedral 自形；xenomorphic 他形

**自形结构：**镜下常见黄铁矿呈五角十二面体晶体形（图 4-2A）。

**填隙结构：**矿石中早生成的方解石、石英等的晶隙或裂隙被晚生成的磁铁矿充填（图 4-2G）。

**半自形结构：**镜下可见半自形粒状的黄铁矿、黄铜矿（图 4-2B），半自形黄铜矿与自形黄铁矿呈共结边结构（图 4-2F）及半自形的自然金颗粒（图 4-2L）。

**它形结构：**镜下可见黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、蓝辉铜矿（图 4-2I）等矿物无完好的晶形，呈它形粒状结构（图 4-2A）。

**交代结构：**鸡冠咀矿床交代结构比较发育，主要有三种：交代残余结构、溶蚀边结构、骸晶结构等。骸晶结构主要表现为黄铁矿被方解石、石英从内部和边缘交代，仍基本保留黄铁矿的晶形，呈交代骸晶结构（图 4-2E），斑铜矿交代黄铜矿边缘部分后，被辉钼矿交代溶蚀，辉钼矿呈溶蚀边结构（图 4-2H），除此之外，呈半自形粒状的黄铜矿被石英、方解石脉交代溶蚀，呈交代残余结构（图 4-2A），除此之外，不同期次的黄铁矿发生交代溶蚀，可见后期黄铁矿交代早期因应力作用呈碎裂结构的黄铁矿（图 4-2C）。

**镶边结构：**镜下可见斑铜矿沿黄铜矿边缘分布呈镶边状，同时基质含辉钼矿，推测辉钼矿与斑铜矿共生（图 4-2H）。

**共结边结构：**鸡冠咀矿区共结边结构主要表现为黄铜矿和黄铁矿两种矿物之间具有平整的接触界线，自形半自形的黄铁矿与半自形黄铜矿呈共结边结构（图 4-2F）。

**包含结构：**鸡冠咀矿区发育包含结构，可见黄铜矿中包含有黄铁矿颗粒，黄铁矿早于黄铜矿形成（图 4-2A）。

**出溶结构：**又称为固溶体分离结构，鸡冠咀矿区中出溶结构表现为黄铁矿颗粒呈乳浊状分布在黄铜矿之中（图 4-2D）。

**压碎结构：**镜下可见黄铁矿及黄铜矿颗粒受外力作用压碎并混合，后期被石英方解石交代，黄铜矿受外力作用发生碎裂，碎块没有明显的位移（图 4-2B）。

**胶状结构：**镜下常见黄铁矿呈胶状结构，被后期结晶黄铁矿所交代（图 4-2J）。

**针状结构：**不同期次的黄铁矿在镜下呈不同结构，其中后期黄铁矿交代粗粒黄铁矿形成针状结构（图 4-2K）。

## （2）矿石构造

鸡冠咀矿区矿石构造有块状构造、团块状构造、脉状构造、浸染状构造、等，以块状构造为主（图 4-3）。

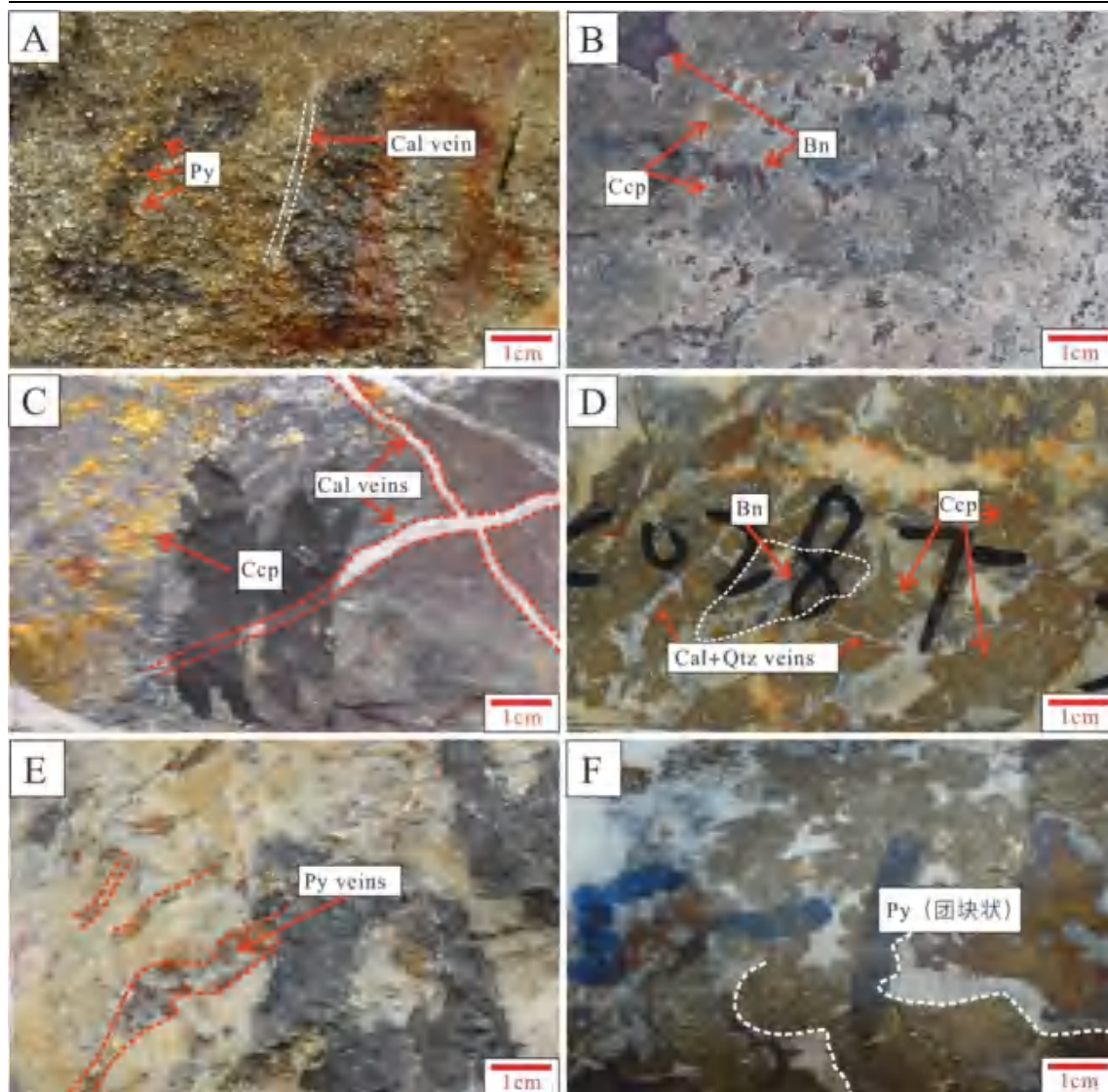


图 4-3 鸡冠咀铜金矿床主要矿石类型

a.块状黄铁矿矿石，见石英脉；b.黄铜矿-斑铜矿矿石，斑铜矿锈色明显，见方解石-石英脉；c.黄铜矿矿石，见方解石脉穿插泥质粉砂岩；d.黄铜矿矿石，受氧化明显，大量方解石-石英脉穿插；e.黄铁矿矿石，黄铁矿呈脉状在大理岩中；f.黄铁矿矿石，黄铁矿呈团块状；Py 黄铁矿；Ccp 黄铜；Cal veins 方解石脉；Bn 斑铜矿；Qtz+Cal veins 石英-方解石脉；

### 4.3 围岩蚀变

#### 4.3.1 蚀变类型

通过对鸡冠咀矿区钻孔的详细编录、系统的矿物组合研究，确定鸡冠咀矿区的蚀变类型主要有矽卡岩化、硅化、钾化、碳酸盐化等。其中矽卡岩蚀变主要包

含石榴子石化、绿帘石化、绿泥石化、阳起石化等，碳酸盐化主要包含方解石化、铁白云石化，钾化主要包含钾长石化和黑云母化。

#### 4.3.2 宏观特征

矽卡岩化主要出现在大理岩和石英闪长岩岩体的接触带（图 4-4）。矽卡岩矿物主要为石榴子石、阳起石、绿泥石、也见少量的绿帘石。其中石榴子石、透辉石属于早矽卡岩阶段，绿帘石、阳起石等属于晚矽卡岩阶段，高岭石化主要出现在石英闪长玢岩中部分斜长石处以及石英闪长岩斜长石角闪石处，其中可见黄铜矿黄铁矿呈浸染状析出（图 4-4A）。钾化主要出现在大理岩和石英闪长岩岩体的接触带中，呈肉红色（图 4-4E）。碳酸盐化，样品广泛，分布在大理岩和金属矿石中为主，为方解石为主要矿物，可见被方解石呈脉状切割的黄铜矿，磁铁矿，赤铁矿等金属矿物。

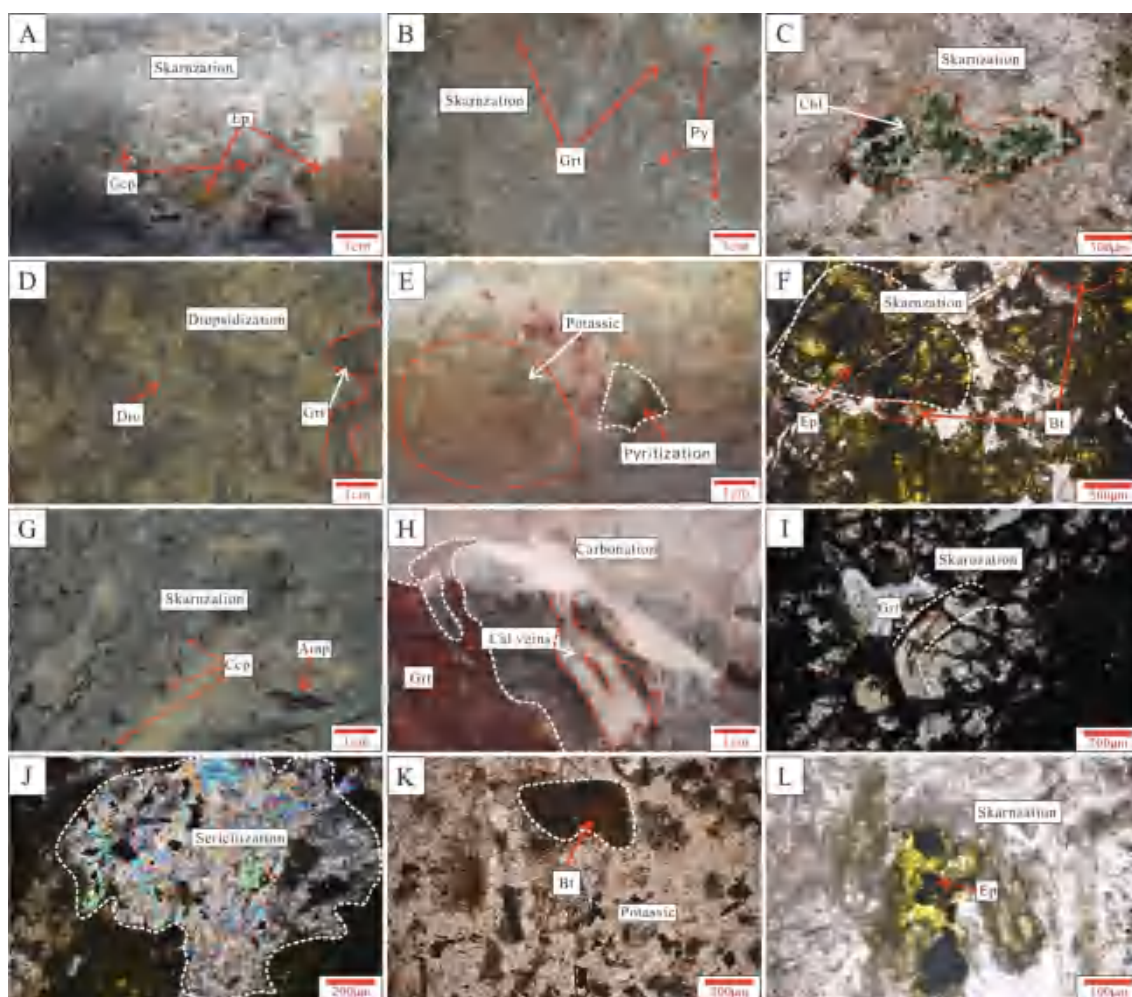


图 4-4 鸡冠咀矿区矿石典型的蚀变特征

a.矽卡岩化-可见绿泥石化、石榴子石化，其中黄铜矿呈浸染状于岩石中；b.矽卡岩化-可见石榴子石化；c.矽卡岩化-镜下可见绿泥石化交代早期石英；d.矽卡岩化-可见透辉石化，局部呈石榴子石化；e.钾化、局部发生黄铁矿化；f.矽卡岩化-镜下可见绿帘石化；g.矽卡岩化-局部发生矽卡岩化交代生成角闪石；h.碳酸盐化-可见方解石脉穿插交代；i.矽卡岩化-镜下可见环带石榴子石（正交光）；j.绢云母化-斜长石被绢云母交代（正交光）；k.钾化-镜下可见局部发生钾化，黑云母呈鳞片状分布在角岩中；l.镜下可见蚀变斜长石生成的绿泥石；Dio 透辉石；Bt 黑云母；Ccp 黄铜矿；Ep 绿帘石；Chl 绿泥石；Grt 石榴子石；Py 黄铜矿；Skarnization 矽卡岩化；Potassic 钾化；Sericitization 绢云母化；Pyritization 黄铁矿化；Diopsidization 透辉石化

### 4.3.3 微观特征

**矽卡岩化：**矽卡岩化主要出现在矿区岩体和围岩的接触带附近，局部出现在角岩中的碳酸岩夹层和大理岩中，矿区内主要的矿物为石榴子石、绿帘石、绿泥石等。其中石榴子石属于矽卡岩阶段，呈不规则状未见环带正交镜下全消光或者自形晶粒可见环带。早矽卡岩阶段的石榴子石在显微镜下呈自形粒状结构或它形结构，部分石榴子石可见清晰的环带，未见环带的石榴子石多具有全消光（图-4I）。而绿帘石属于晚矽卡岩阶段阶段，绿帘石局部呈不规则粒状，局部与石英共生呈团块状，交代早矽卡岩阶段形成的石榴子石（图 4-4I）。绿泥石在镜下为暗绿色，呈近六方板状晶体，集合体为片状及鳞片状，局部可见绿泥石与金属矿物共生，局部可见绿泥石被后期的磁铁矿交代（图 4-4C）；

**钾化：**鸡冠咀矿床常见的钾化有两种方式，一种为钾长石化，主要存在于石英闪长岩岩体中，呈粉红色致密块状分布，和石英、角闪石共生（图 4-4E）；另一种为黑云母化，镜下可见斜长石发生钾化蚀变为黑云母。

**碳酸盐化：**在镜下主要为方解石呈脉状交代，局部可见方解石交代石英闪长岩中角闪石（图 4-4H），也可见方解石细脉切割黄铁矿、绿帘石等颗粒。

**绢云母化：**主要出现石英闪长岩等中局部常见斜长石发生绢云母化，绢云母呈细小鳞片状（图 4-4J）。

## 4.4 成矿期次与成矿阶段

在对鸡冠咀矿床地质特征详细总结结合光薄片中药物的共生组合、结构构造特点将鸡冠咀矿床的成矿作用划为两期五个阶段，分别为矽卡岩期和石英-硫化物期，矽卡岩期包括早矽卡岩阶段、晚矽卡岩阶段和氧化物阶段；石英硫化物期包括早期、晚期,其中早期硫化物阶段是矿区最主要的铜金成矿阶段（见表 4-2）。

矽卡岩期：主要见于大理岩和石英二长闪长岩的接触带，分为早矽卡岩阶段、晚矽卡岩阶段以及氧化物阶段。

### 1) 早矽卡岩阶段

本阶段主要形成大量的无水硅酸盐矿物，以石榴子石和透辉石为主。石榴子石在手标本中为他形或者集合体，主要呈褐红色（图 4-4H）。镜下可见自形粒，可见环带，局部石榴子石被后期矿物交代，包括方解石、石英等矿物（图 4-4I）。其次，透辉石在手标本中为他形粒状或者集合体，主要呈浅绿色，镜下无色（图 4-4D）。

### 2) 晚矽卡岩阶段

晚矽卡岩阶段主要形成含水的硅酸盐矿物（包括绿帘石、阳起石等）并大量交代早矽卡岩阶段形成的无水硅酸盐矿物如：石榴子石、透辉石。除此之外，还有少部分磁铁矿生成，其中局部可见该阶段交代保留早矽卡岩形成的矿物晶形如：绿帘石交代石榴子石（图 4-4I）。

石英闪长岩被绿帘石和阳起石交代，在手标本上变绿-黑绿色（图 4-4）。局部绿帘石、纤维状阳起石交代呈它形粒状结构角闪石。绿泥石主要呈不规则片状交代早矽卡岩阶段形成的石榴子石（图 4-4I）。手标本中角闪石常与斜长石共生，有时还与石榴子石和绿帘石等矿物共生图（4-4G）。

### 3) 氧化物阶段

氧化物阶段是矽卡岩期向硫化物期的过渡阶段，该阶段以硅酸盐矿物大量减少，开始形成石英等氧化物为特征。本阶段主要形成钾长石以及后期的绢云母（图 4-4J）、石英和方解石、绿泥石，金属矿物主要有赤铁矿、磁铁矿，镜下偶尔可见绿泥石-磁铁矿团块，指示绿泥石和部分磁铁矿同时形成于氧化物阶段（图 4-4C），该阶段较短。

## （2）石英-硫化物期

### 1) 早期-硫化物阶段

早期硫化物阶段是鸡冠咀矿床最主要的铜金矿化阶段，自然金在本阶段形成。该阶段形成的非金属矿物主要有绢云母、石英、方解石以及绿泥石、黑云母和钾长石；金属矿物主要为黄铁矿和黄铜矿，除此之外还有少量的赤铁矿、自然金、斑铜矿、蓝辉铜矿等（图 4-2）。

本阶段晚期开始形成多种金属硫化物。本阶段多发育石英-黄铁矿脉。此外，在半自形粒状黄铁矿中可见黄铜矿和斑铜矿出溶，指示三者在本阶段共生。局部可见自然金。

### 2) 晚期-硫化物阶段

晚期硫化物阶段主以方解石为主，除此之外还有少量的斑铜矿、辉铜矿，石英在本阶段完全消失。随着本阶段从早到晚，金属硫化物逐渐减少，本阶段后期只形成大量的方解石脉。

表 4-2 鸡冠咀矿床矿物生成顺序表

期 阶段 矿物	矽卡岩			硫化物	
	早矽卡岩	晚矽卡岩	氧化物	早期-硫化物	晚期-硫化物
石榴子石					
透辉石					
角闪石					
绿帘石					
阳起石					
磁铁矿					
绿泥石					
赤铁矿					
钾长石					
绢云母					
石英					
黄铁矿					
黄铜矿					
自然金					
斑铜矿					
辉铜矿					
方解石					

少量分布

大量分布

局部分布

## 第五章 隐爆角砾岩特征

### 5.1 隐爆角砾岩空间分布

隐爆角砾岩是指在一定地壳深度(0.5 ~ 3km)的闭合条件下<sup>[34]</sup>, 由于岩浆或水热流体扩张减压, 热液侵入体上升过程中, 产生沸腾、去气作用, 引起爆炸所形成的岩性组合<sup>[6]</sup>。根据井下观察和钻孔岩芯样本采集, 发现鸡冠咀 024 线-028 线之间矿区中部的角砾岩可能为隐爆角砾岩<sup>[35]</sup>, 主要有以下三个方面的依据: 1.角砾成分与围岩关系密切, 靠近岩体一侧岩体角砾多(图 5-1A), 靠近地层一侧地层角砾多(图 5-1B)。2.角砾以棱角状为主, 次为次棱角状, 次圆状少见, 没有较大的位移, 常具可拼性, 裂隙可以封闭, 蚀变褪色边缘明显, 同时角砾和胶结物之间的溶蚀边明显如图(5-2A), 黄铁矿受力塑性弯扭。3.胶结物多由岩粉(角砾同成分)、硫化物及硅质等组成, 常含金属硫化物: 如黄铁矿。



图 5-1 鸡冠咀铜金矿床井下图

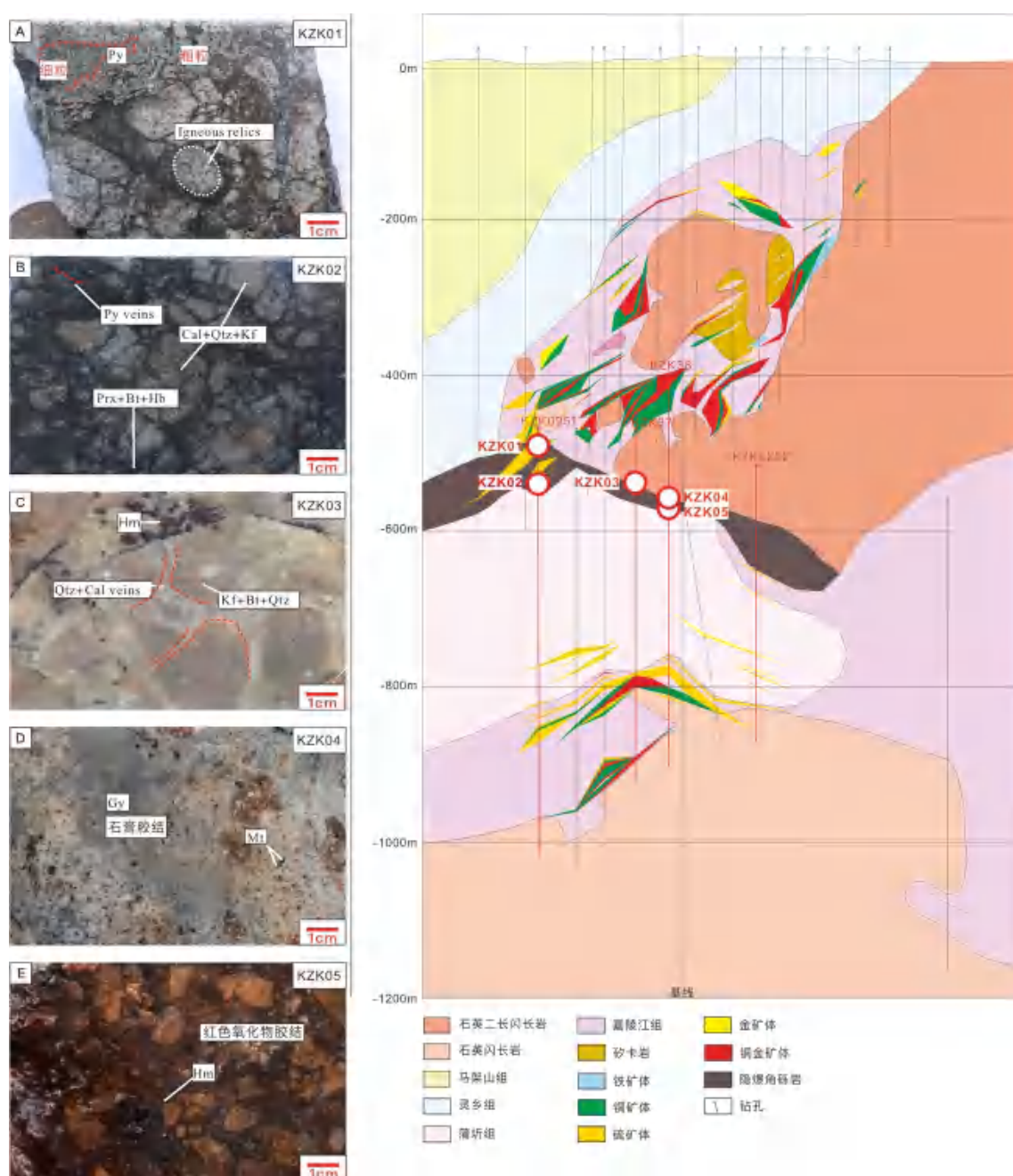


图 5-2 鸡冠咀铜金矿床 (L26) 26 号线纵向剖面图：显示了内层矿床、不同类型的矿体和样品位置 a.硫化物胶结角砾岩 (岩体角砾) b.硫化物胶结角砾岩 (地层角砾) c.热液胶结角砾岩 d.热液胶结角砾岩 (石膏胶结) e.热液胶结角砾岩 (红色铁氧化物胶结) Hm 赤铁矿；Qtz 石英；Gy 石膏；Mt 磁铁矿；Kf 钾长石；Bt 黑云母；Igneous relics 火成岩碎屑；

与一般隐爆角砾岩不同的是，鸡冠咀隐爆角砾岩在空间上呈线状分布 (图 5-3)，与该区域地层岩浆岩接触所形成的线状构造薄弱带有关，前人一般将其作为矿区深部一隐伏缓倾断层 (图 5-2)，将鸡冠咀矿床分成上下两个成矿空间，I、II、III 号矿体群赋存于断层的上盘，VII 号矿体群赋存于断层下盘的白云质大理岩层间破碎带及其与石英闪长岩的接触带附近，隐爆角砾岩作为上下矿体分隔

层，沿北东方向延伸 1km 左右，在 025-026 线之间形态变化最为剧烈，矿体形态受断裂面产状起伏而变化。

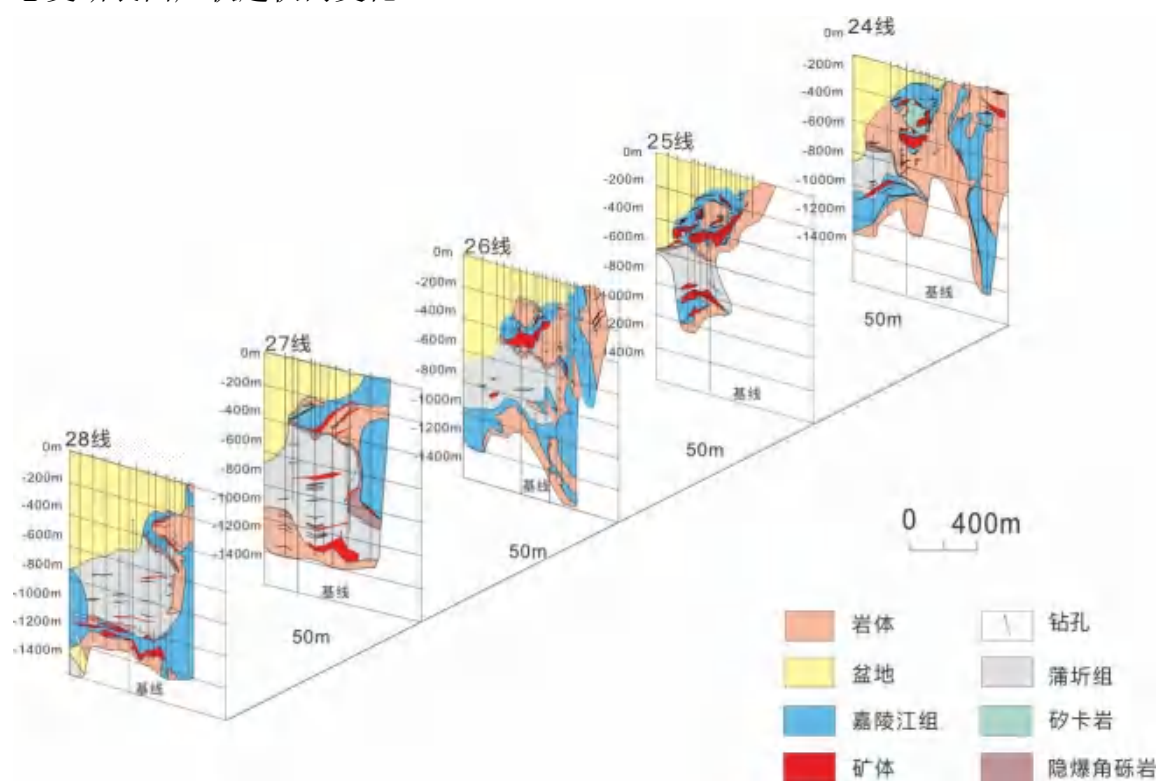


图 5-3 鸡冠咀矿区 024-028 联合勘探线剖面图

## 5.2 隐爆角砾岩的类型及岩石学特征

隐爆角砾岩的形成与流体活动密切相关，鸡冠咀矿区存在多种不同性质的流体活动，为了解不同类别隐爆角砾岩成因及形成过程，挑选了蚀变弱的新鲜岩石样品进行。

### 5.2.1 隐爆浆屑角砾岩

隐爆浆屑角砾岩为鸡冠咀隐爆角砾岩体的主要组成部分，空间分布上在隐爆角砾岩体中心（后文所提及的隐爆角砾岩中心即隐爆浆屑角砾岩赋存区域），与围岩呈渐变接触，部分角砾发育压碎结构，角砾大小数厘米不等，胶结物主要为熔浆硫化物和微粒-细粒晶屑和岩屑，其中硫化物如黄铁矿、黄铜矿主要呈粒状分散于胶结物中，次为呈脉状分布胶结物中，角砾成分主要为附近围岩成分，包括岩体及地层，局部可见隐爆角砾岩体边缘热液与硫化物一起以充填和交代方式胶结角砾。

硫化物胶结隐爆角砾岩呈深灰色，主要由角砾（45%~65%）和胶结物（35%~55%），胶结物中硫化物约占（10%~15%），角砾棱角状-次棱角状，具有一定的拼合性，砾径 2mm~2cm 为主，最大约 2 x 3cm，角砾成分主要为，主要为石英二长闪长岩、石英闪长岩及大理岩等，胶结物主要以原岩岩屑、岩粉及硫化物黄铁矿为主，次为少量钙质及铁质胶结物，其中岩屑、岩粉由石英二长闪长岩等岩浆岩、地层围岩炸碎和运移磨细而成。岩石角砾和胶结物中可见细脉-网脉状、细粒浸染状金属硫化物矿物，局部裂隙发育，裂隙中多充填黄铁矿脉，局部黄铁矿脉分布较富集（图 5-3F）。

### 5.2.2 隐爆热液角砾岩

隐爆热液角砾岩主要位于鸡冠咀隐爆角砾岩体边缘和下部，角砾常常为围岩物质，胶结为热液物质，角砾边缘具有热液蚀变边，大多角砾具有可拼合特征，岩石中的角砾分选较差，粒径变化较大，角砾磨圆差，为棱角-次棱角状，可拼合性较好；主要相同岩性的角砾聚集在一起出现，或者不同空间往往以某几种固定的岩性为主。其中主要以硅质、碳酸盐、红色铁氧化物胶结为主，角砾间为后期热液注入并冷却结晶而胶结，热液脉宽度大小不等，胶结角砾的主要热液矿物为石英、硬石膏、方解石、赤铁矿等。

碳酸盐胶结隐爆角砾岩（图 5-2C），与围岩渐变接触，岩心完整性较好，呈灰白色，角砾多呈次棱角状，磨圆状，大小 0.2~1cm 不等，碎裂拼合性差，约占岩石含量（~55%），角砾成分主要为石英闪长岩，大理岩等，其中，石英闪长岩、大理岩中发生热液蚀变，多为矽卡岩化及钾化，胶结物多为长石，原岩碎屑物等，少量高岭石，约占岩石含量（~25%），为基底式胶结，微量黄铁矿、黄铜矿呈斑点状出现，大小 2 x 3mm。

硅质胶结隐爆角砾岩，与围岩呈渐变接触，主要为石膏胶结，岩心完整性好，角砾状结构，块状构造，总体呈灰白色，角砾成分主要为粉砂质粘土岩、少量透辉石矽卡岩、石英闪长岩等，角砾多呈磨圆状，少数呈次棱角状，大小（~0.1cm），占岩石含量的（~30%），胶结物多为硅质高岭石等，占岩石含量的（~60%），为基底式胶结。

红色铁氧化物胶结隐爆角砾岩，与围岩渐变接触，局部角砾发育压碎结构，角砾状结构，局部发育压碎结构，块状构造，岩石性脆，手捏岩石裂隙呈碎块状，呈褐红色，局部呈黄白色，角砾成分主要为粉砂质粘土岩、石英二长闪长岩、少量大理岩、闪长岩等，角砾多为棱角状、次棱角状，少数为磨圆状，大小 0.2~4cm 不等，其中大颗粒角砾主要为闪长岩，石英闪长岩，角砾占岩石含量的

(~60%)，胶结物主要为红色铁氧化物赤铁矿，原岩碎屑物，部分石英-方解石脉充填于裂隙中，胶结物占全岩含量的(~30%) (图 5-2E)。

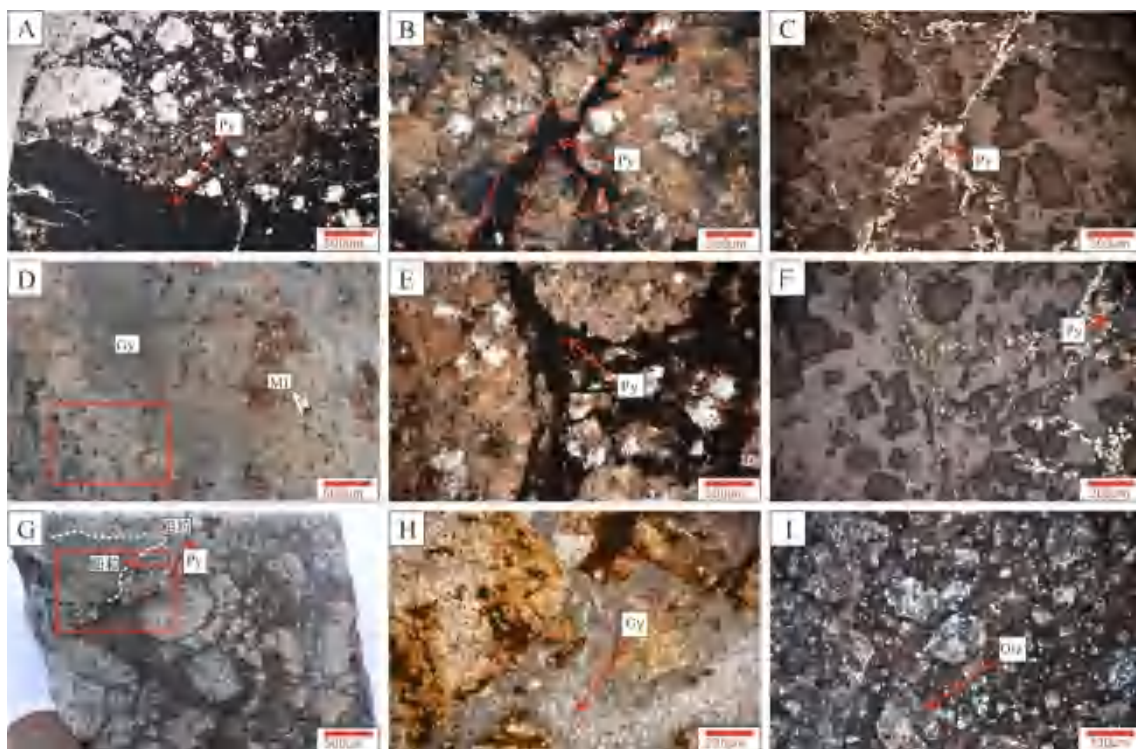


图 5-4 鸡冠咀矿区矿石角砾岩

a.硫化物胶结角砾岩；b.镜下角砾受硫化物胶结（b为g中红色框中标出部分）；c.镜下角砾受硫化物胶结（反射光下）；d.手标本下光薄片热液胶结位置；e.硫化物胶结角砾岩，可见黄铁矿脉；f.硫化物胶结角砾岩，可见黄铁矿脉（反射光）；g.手标本下光薄片硫化物胶结位置；h.热液胶结角砾岩（h为d中红色框中标出部分）；I.热液胶结角砾岩；

Gy 石膏；Qtz 石英；Py 石英；Mt 磁铁矿；

### 5.3 隐爆角砾岩中的胶状黄铁矿

黄铁矿是矿床中常见的金属硫化物，在不同成矿阶段都有出现，受成矿环境的影响，Co、Ni、As 等微量元素可以类质同象的形式进入黄铁矿的晶格中，引起黄铁矿性质的改变，因此通过黄铁矿种微量元素的差异，分析其形成环境。

胶状黄铁矿属于黄铁矿的一种，分子式为  $\text{FeS}_2$ ，在成矿过程中产生周期性沉淀，从而生成同心条带。随着成岩成矿活动的温度降低，发生收缩，形成弯曲、皱纹和裂缝，使表面呈球状、结核状等形态，而内部依旧保持同心条带状，这种形态的黄铁矿通常称为胶状黄铁矿<sup>[36]</sup>。

其中，在鸡冠咀隐爆角砾岩体的隐爆碎屑角砾岩硫化物胶结角砾岩中，可见大量胶状黄铁矿，胶状黄铁矿指示多期热液流体活动，而岩浆隐爆作用的发生最直接的因素是受热的多源流体或气体，通常气爆发生于早期，浆爆发生较晚，而热液注入最晚，主要作用方式是多期次气液的聚集。胶状黄铁矿形成中，受到流体物理化学条件改变或环境因素的影响，其中化学组成的实际值与理论值的对比具有可靠的指示岩石和矿物成因意义<sup>[36]</sup>。因此，对胶状黄铁矿中主、微量元素进行研究，可以更好地揭示鸡冠咀矿床隐爆角砾岩形成后期热液变化过程。

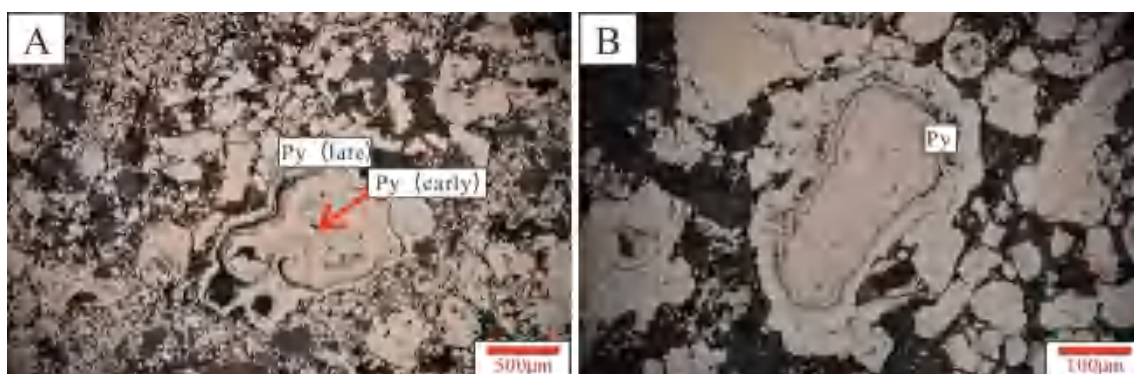


图 5-5 胶状黄铁矿显微照片

a.不同期次黄铁矿交代形成胶状黄铁矿，局部可见粒状黄铁矿；b.不同期次黄铁矿形成胶状结构；Py (early) 早期黄铁矿；Py (late) 晚期黄铁矿

## 5.4 隐爆角砾岩黄铁矿矿物化学特征

### 5.4.1 样品采集

鸡冠咀矿床硫化物胶结的角砾岩中，含大量胶状黄铁矿的手标本，暗黄色，金属光泽较强，致密块状构造，自形结晶完整的黄铁矿颗粒占（~ 65%），无色透明及浅灰色石英（~ 13%），黄铜矿（~ 10%）（图 5-2A），对其选区中制成的光薄片开展了电子探针和原位微区微量元素测试分析。

### 5.4.2 分析测试

实验测试在武汉上谱分析科技测试中心完成，主量元素采用日本电子电子探针(JXA-8230)；微量元素采用安捷伦电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7900)，相干 193nm 准分子激光剥蚀系统(GeoLas HD)进行测定，微量元素校正标准样品：NIST 610，微量元素监控标准样品：MASS-1，以上样品均为国际标准物质，推荐值引自 GeoRem (<http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>)，分析用激光剥蚀系统为

GeoLas HD, 等离子体质谱仪为 Agilent 7900。隐爆角砾岩主量元素分析结果见(表 5-1), 微量元素分析结果见(表 5-2)。

### 5.4.3 测试结果

黄铁矿主量元素理论组成(wB%)为 Fe: 46.55, S: 53.45, 比值接近 0.87, 前人研究结果表明, 黄铁矿  $S/Fe < 2$  为硫亏损,  $S/Fe < 2$  为铁亏损(表 5-2)。

电子探针主量元素分析结果, 硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿主量元素理论组成(wB%)为 Fe: 45.54, S: 52.40, 其中黄铁矿  $S/Fe$  为 ( $\sim 1.15$ ),  $S/Fe < 2$  为铁亏损。

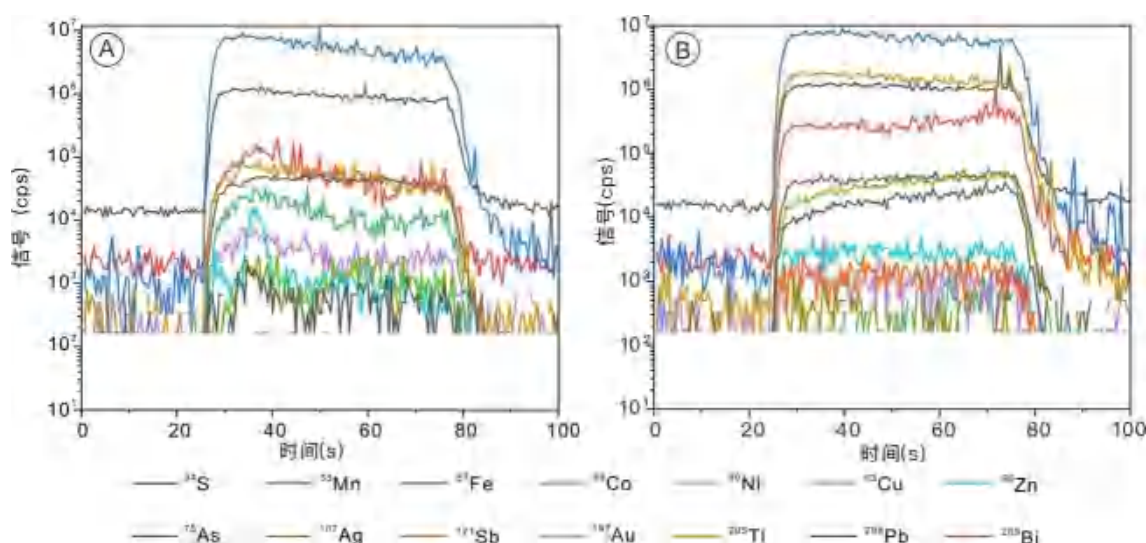


图 5-6 黄铁矿时间分辨率剥蚀信号剖面图

LA-ICP-MS 时间分辨率剥蚀信号图中, As、Pb、Tl、Cu 等元素随剥蚀时间的增加, 信号强度近似平缓, 波动较小, 显示纵深线上成分在束斑剥蚀保持均匀性<sup>[37]</sup>, 同时这些元素与 Fe 信号曲线显示出一定的一致性, 推测这些元素在黄铁矿中主要以类质同象的方式存在。LA-ICP-MS 测试结果显示, 硫化物胶结隐爆角砾岩黄铜矿中 Fe、Cu、Pb、Mn、As 等元素含量相对较高, Au、Sb 等元素基本明显低于检出限。

黄铁矿微量元素的研究主要集中两种: 1. 不同元素方式代替黄铁矿晶格中的 Fe 及 S, 比如 Co、Ni 常代替 Fe, As、Te、Se 等元素常代替 S; 2. 以机械混入的方式存在与黄铁矿中, 如 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、Sn、W、Bi 等<sup>[38]</sup>。

在 Co、Ni 及其比值, 不同成因黄铁矿中其比值间存在明显差异。热液成因黄铁矿 Co/Ni 一般为 1.17; 岩浆成因 Co/Ni 一般为 0.09 ~ 12。Co 在黄铁矿中的含量与成矿温度成正比, 因此黄铁矿中 Co 含量对成矿温度有一定的指示作用<sup>[39]</sup>。

微量元素含量和比值可以较准确地判别隐爆角砾岩成因类型和生长环境，但也需要考虑地质体的成岩矿化作用、同位素地球化学等<sup>[36]</sup>。

微量元素 Co/Ni 分析结果，硫化物胶结胶状黄铁矿 Co 的平均值为（~9.93ppm）、中位数为（~2.59ppm），Ni 的平均值为（~23.84ppm）、中位数为（~2.82ppm），硫化物胶结胶状黄铁矿中 Co/Ni<1 与 Co/Ni>1 均有，其中 Co/Ni 比值范围较大，总体介于 0.05 ~3.54，平均值 0.94；Co/Ni 在 1 左右动荡，多指示胶状黄铁矿为热液成因。

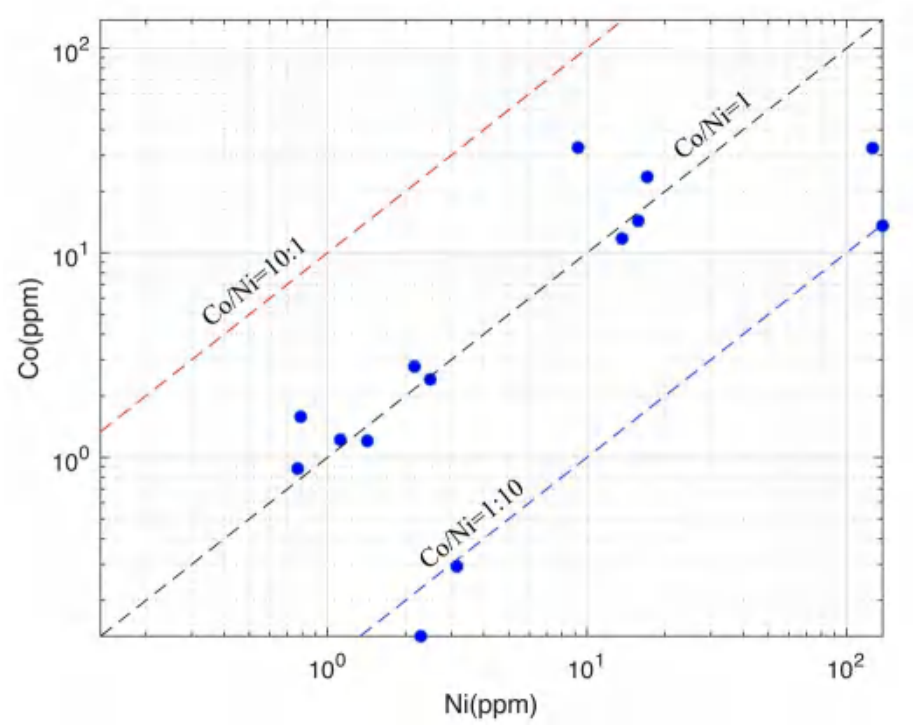


图 5-7 鸡冠咀铜金矿床硫化物胶结隐爆角砾岩 Co/Ni 比值

热液成因黄铁矿中 Ga、Ti、Mn、Cr、Sn、Pb 等，除 Pb 为亲硫元素外，主要为亲石元素和亲铁元素，进入黄铁矿的过程受温度因素控制明显，在黄铁矿中含量较低<sup>[38]</sup>。

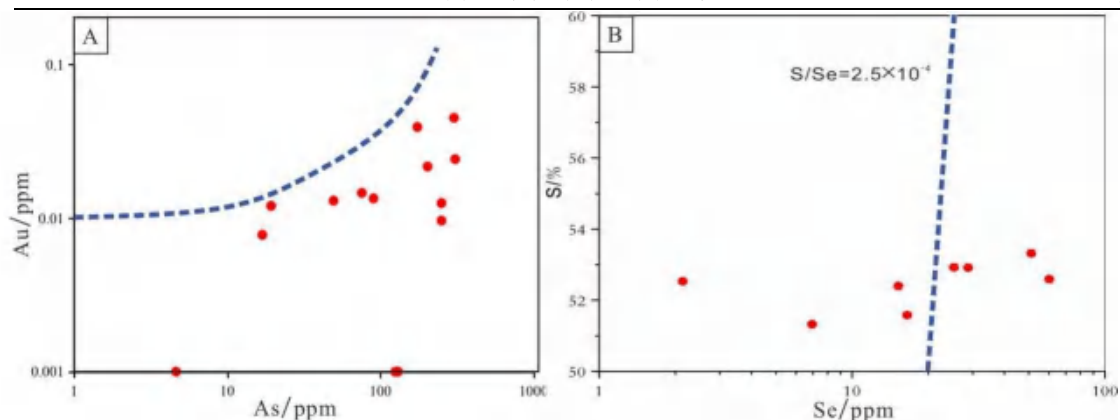


图 5-8 鸡冠咀铜金矿床硫化物胶结隐爆角砾岩 Au/As 比值及 S/Se 比值

大量研究表明不同来源的流体中具有不同的 S/Se 比值，热液成因的胶状黄铁矿 S/Se 值偏低，通常低于  $2.5 \times 10^4$ ，热液中硫化物沉淀过程有选择性的吸收 Se 或 S，从而改变流体的 S/Se；热液流体氧化还原或 pH 发生改变使得 Se 发生分馏；除此之外，低温黄铁矿相对高温矿床更富 Se，温度改变使得 Se 发生分馏，使得溶液中 S/Se 比值发生改变<sup>[40]</sup>。该黄铁矿 S/Se 均匀分布在  $S/Se=2.5 \times 10^4$ ，指示多期次不同物理化学状态热液注入构造薄弱接触带形成隐爆角砾岩。

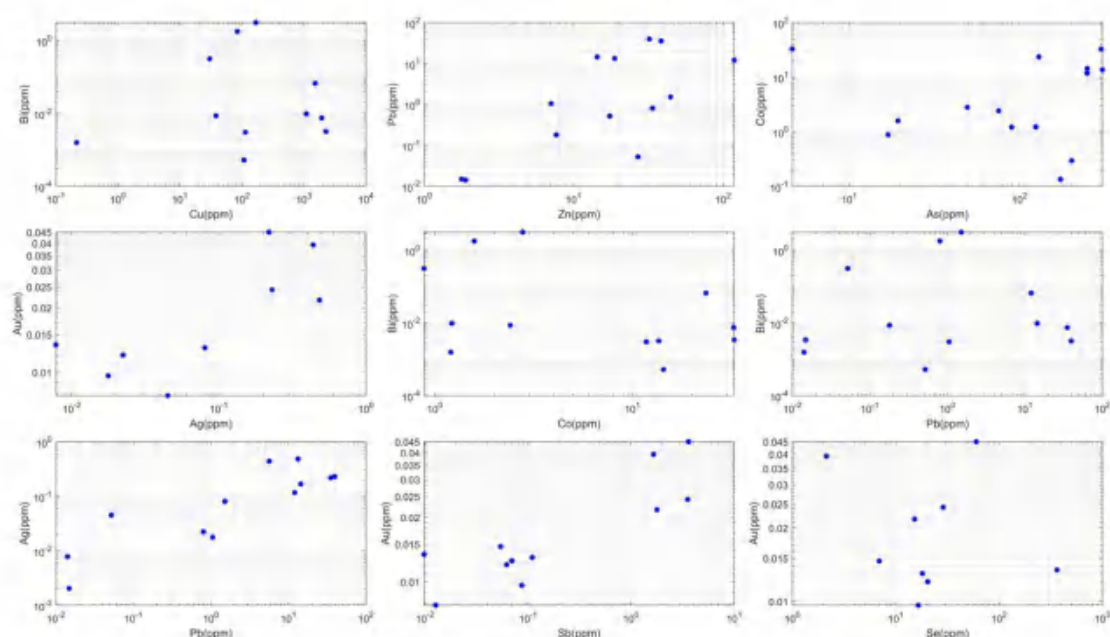


图 5-9 鸡冠咀铜金矿床硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿微量双变量

Au 与 As 普遍存在正相关性。这是由于 As 能够替代黄铁矿晶格中的 S，为 Au 的富集提供空间，胶状黄铁矿中 Au/As 呈弱相关性，可能和多期次流体混合成因有关。根据 Reich et al.模拟的 Au 元素在富 As 黄铁矿中最大溶解度的公式  $C_{Au}=0.02 \times C_{As}+4 \times 10^{-5}$ （C 为元素的摩尔浓度），此公式适用于浅成热液型金矿。

张旭波（2015）估算鸡冠咀铜金矿床成矿深度为 400m~2km，因此可以用该公式对 Au/As 数据比值进行分析<sup>[3]</sup>，因此将溶解度曲线绘制于关系图中。Au/As 中数据点均位于溶解度曲线之下（图 5-8A），说明 As、Au 两者以固溶体形式存在于黄铁矿。

微量元素分析结果（表 5-2）：硫化物胶结隐爆角砾岩中黄铁矿更富集 Bi、As、Mo、Pb、Sb、Se、Cu、Zn 等，亏损 W、Ge、Cd 等元素。Co 含量介于（0.13~32.72）ppm，平均值(~9.93) ppm；As 含量介于(4.63~306.52)ppm，平均值(~142.41) ppm；Pb 含量介于（0.014~35.25）ppm，平均值(~8.88) ppm；Se 含量介于（0~363.67）ppm，平均值(~62.15)ppm；Sb 含量介于（0~3.60）ppm；

其中 Cu、Pb、Zn、Bi 为亲 S 元素，其中剥蚀曲线中 Cu、Pb 均出现峰值，说明可能剥蚀到黄铁矿中的其他硫化物细小包体，镜下现象局部发现微小硫化物包体出现黄铁矿中（图 5-5）。

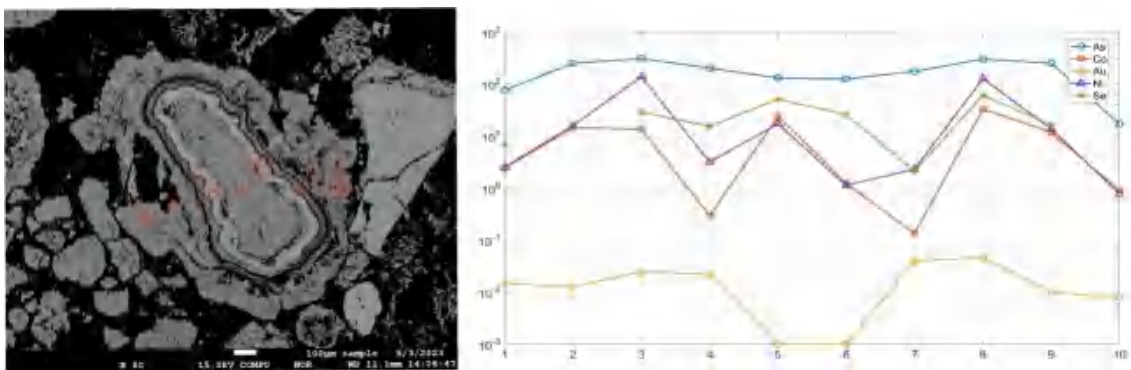


图 5-10 胶状黄铁矿中 LA-ICP-MS 微量元素的变化范围

在胶状黄铁矿上共完成了 10 个剥蚀点，选定一个完整胶状黄铁矿，从边部至核部再至边部微量元素变化如（图 5-9）所示。这些剥蚀点依次排列均处于表面平整、无其他杂质影响的位置。As 整体含量较高，暗色环带相比亮色环带富砷略低；核部暗色环带基本未找到 Au，而在近边部亮色环带中表现为相对高值，但相比其他元素依然很低；Co 表现出亮色环带表现为低值，暗色环带为高值且相差较大，与 Ni 表现相同。整体上胶状黄铁矿 Co、Ni、Se 含相对较大的变化值域，As、Au 较窄。

微量元素相关系数中，Sb 与 Ag、Ag 与 Tl、Tl 与 As、Cu 与 Pb 显示一定正相关性，Bi 与 Pb 元素未显示相关性；Bi 和 Cu 显示弱相关，其中 Cu 与 Pb 相关性较高，说明 Cu 部分以黄铜矿或含 Pb 矿物的显微包裹体形式存在。

Pb 为低温生成矿床产物<sup>[41]</sup>，Mo 为高温生成矿床产物<sup>[42]</sup>，Au 与 Pb 的相关系数为 0.52，Au 与 Mo 的相关系数为 0.11，Ti 为亲铁元素，Pb 和 Ti 的相关系数

约等于 1，指示隐爆角砾岩中含金矿物的形成和热液成因胶状黄铁矿有经过低温过程。

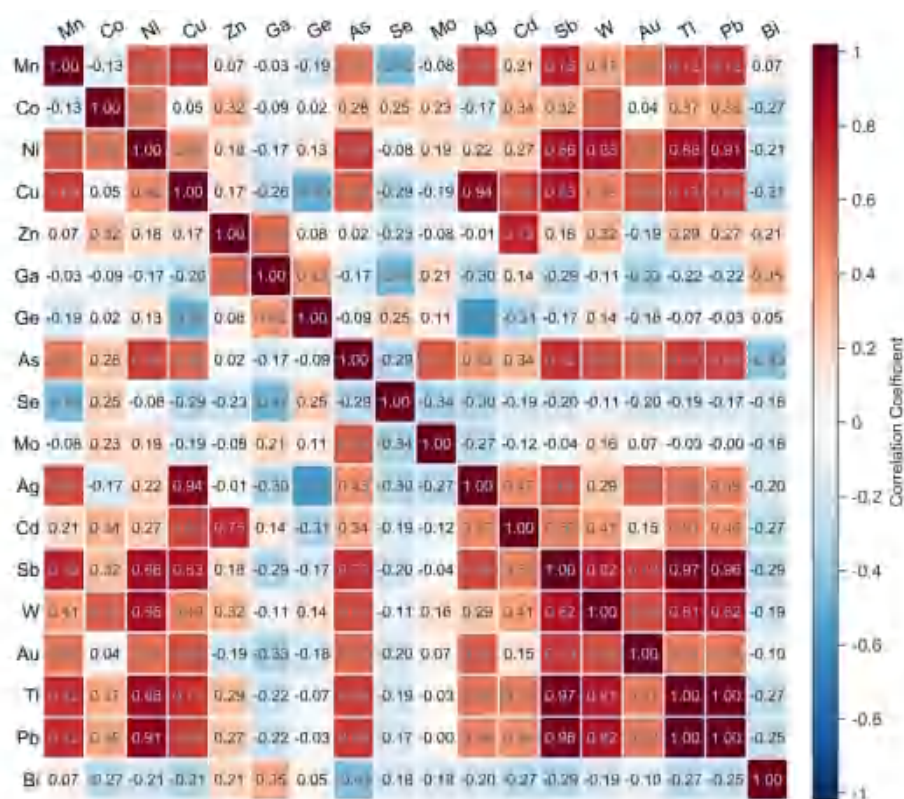


图 5.11 鸡冠咀铜金矿床硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿微量相关系

表 5-1 硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿微量元素成分分析

样品点号	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sb	W	Au	Tl	Pb	Bi
1	33.75	2.41	2.49	38.09	7.65	0.00	1.23	75.44	6.95	202.91	0.00	0.15	0.05	0.01	0.01	0.33	0.18	0.01
2	53.22	14.34	15.76	107.90	17.44	0.08	1.50	249.70	0.00	686.75	0.00	0.13	0.07	0.08	0.01	0.81	0.52	0.00
3	299.06	13.57	137.83	2263.93	32.08	0.03	1.42	306.52	28.76	193.85	0.23	0.77	3.54	0.22	0.02	44.59	39.52	0.00
4	200.92	0.29	3.15	2657.82	18.83	0.01	1.08	202.46	15.24	41.13	0.48	0.79	1.78	0.08	0.02	18.08	13.29	0.00
5	35.78	23.53	17.06	1519.52	118.66	0.09	1.38	129.87	51.12	94.38	0.12	2.34	1.01	0.15	0.00	16.91	12.06	0.07
6	75.17	1.22	1.12	1088.19	14.36	0.03	1.42	124.59	25.29	49.05	0.17	0.30	1.05	0.05	0.00	19.96	14.43	0.01
7	124.50	0.13	2.29	2799.66	0.00	0.02	1.10	173.90	2.14	41.42	0.44	0.97	1.65	0.06	0.04	9.31	5.67	0.00
8	132.11	32.54	126.05	1937.38	38.54	0.01	1.53	301.41	60.23	249.30	0.22	0.83	3.60	0.53	0.05	41.43	35.25	0.01
9	43.48	11.74	13.65	113.64	7.07	0.05	1.47	249.81	16.53	571.10	0.02	0.13	0.09	0.05	0.01	1.83	1.05	0.00
10	85.05	0.88	0.77	30.29	26.96	0.11	1.63	16.92	0.00	26.58	0.04	0.00	0.01	0.03	0.01	0.10	0.05	0.32
11	0.16	1.20	1.42	0.22	1.89	0.00	1.71	89.88	363.67	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
12	0.21	32.72	9.24	0.00	1.78	0.00	1.25	4.63	261.63	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00
13	118.42	1.58	0.79	84.53	33.70	0.09	1.74	19.31	20.41	25.73	0.02	0.00	0.06	0.05	0.01	1.19	0.80	1.77
14	104.03	2.78	2.16	167.19	44.52	0.06	1.24	49.35	18.08	114.02	0.08	0.06	0.11	0.03	0.01	2.04	1.51	3.13

表 5-2 硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿电子探针主量成分分析

No.	Ag	As	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Pb	S	Au	Total
1	0.00	0.12	0.00	0.74	0.00	0.10	44.69	0.07	51.32	0.00	97.03
2	0.03	0.00	0.02	0.06	0.00	0.07	46.19	0.04	52.76	0.00	99.17
3	0.00	0.00	0.00	0.42	0.02	0.10	45.40	0.08	52.92	0.01	98.94
4	0.00	0.02	0.03	0.44	0.00	0.08	45.52	0.04	52.40	0.00	98.53
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	46.75	0.04	53.32	0.00	100.20
6	0.01	0.01	0.00	0.04	0.02	0.09	45.87	0.06	52.93	0.04	99.07
7	0.02	0.00	0.01	0.16	0.00	0.07	45.69	0.00	52.53	0.03	98.53
8	0.01	0.04	0.01	0.28	0.00	0.06	45.58	0.01	52.59	0.09	98.68
9	0.00	0.01	0.03	0.62	0.02	0.08	44.98	0.01	51.58	0.00	97.35
10	0.00	0.07	0.03	0.70	0.00	0.08	44.71	0.11	51.62	0.03	97.35

## 第六章 隐爆角砾岩成因

### 6.1 隐爆角砾岩形成条件

隐爆角砾岩形成于近地表环境中，是一类在地下一定深度范围内，当流体压力超过静岩压力和抗张强度之和时，受热流体在封闭条件下发生隐蔽爆发作用而形成的特殊岩石组合。在前人研究成果的基础上，结合鸡冠咀矿区隐爆角砾岩的空间分布、岩石学、地球化学等特征，总结了鸡冠咀矿床形成隐爆角砾岩的几个重要条件：

#### 6.1.1 构造圈闭

构造圈闭条件提供隐爆角砾岩形成的部分内外因素，如内因：大量挥发份的析出和聚集，浅成地表封闭作用导致含气体的岩浆到达后，气体均在该区域聚集。外因：外部物理化学条件如：压强、温度的骤变，封闭作用导致侵入体侵入到该构造薄弱带处后，封闭空间上由于物质密度的增大和系列因素的变化从而构成隐爆角砾岩产生的必要因素，所以其形成一定处于一个相对密闭的空间。

鸡冠咀铜金矿床隐爆角砾岩是大量中酸性岩浆在沿着深大断裂，快速上升至近地表（-400~-600m）岩浆岩与地层构造薄弱带，该处构造薄弱带是深部粘土岩，粉砂岩等地层岩性组合（如 3.1 节中提到的蒲圻组）和浅部石英二长闪长岩，石英闪长岩等上覆岩体屏蔽作用下圈闭形成，整个空间展布呈线性，因而含气热液穿插进入后呈线形展布，发生多期次爆炸形成，自下而上穿插至该构造薄弱带时其所受压力梯度与温度骤降，而压力梯度的骤降导致液体汽化、体积迅速膨胀，发生减压排气作用，大量挥发分与气体析出，首先形成隐爆碎屑角砾岩即硫化物胶结角砾岩。后期因为深大断裂的脉动性与振荡性活动进一步促进了深部岩浆的气-液分异，加速了挥发分和气体的富含、聚集，最终诱发以气爆为前导的熔浆隐蔽爆破的发生<sup>[9]</sup>。

围绕鸡冠咀隐爆角砾岩体附近广泛发育脉状硫化物、硅化作用、热液填充,表现为黄铁矿脉穿插、硅酸盐脉穿插及隐晶质-石膏脉、多期次黄铁矿、石英沉淀。围岩中的黄铁矿由围岩液压致裂所形成,并伴随着流体沸腾。

其中微量元素数据中可见,酸性挥发成分逃逸导致成矿热液 pH 值的升高,提高 As 的溶解度,使其保留在成矿热液中而不进入液压致裂所形成的节理系统。同一流体中 Se、Co 和 Ni 的溶解度受温度影响明显。胶结物中黄铁矿的韵律环带结构可能是隐爆事件前后稳定期间沉淀形成,流体沿原先形成的裂隙运移沉淀,也可以形成密封的网脉状裂隙。

### 6.1.2 隐爆深度

硫化物胶结隐爆角砾岩中的黄铁矿  $Fe/(S+As)$  介于 0.85~0.87, As 含量多数低于岩浆热液及火山热液型黄铁矿中 As 的含量 (1500ppm), 平均值约 (445ppm), 显示其形成于矿体中部 (-400 ~ -600m 之间) 环境。

通过张旭波等 (2018) 与张伟等 (2015) 的压力深度估计相图得鸡冠咀矿床成矿期开始距地表大约 2km, 至距地表 400m 结晶完成<sup>[1,3]</sup>, 与硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿微量元素所得结果相吻合。

### 6.1.3 温压条件

Co、Ni、Se 等微量元素也可用来指示成矿温度。一般认为,矿物的形成温度越高,微量元素越丰富,Co/Ni 比值越大。硫化物胶结隐爆角砾岩中 Co/Ni 较为分散,总体介于 0.05~3.54 之间,总体位于 1 附近。黄铁矿中 Cu、Pb、Ag、As、Mo 等元素含量相对较高,W、Cd、Ge 等元素相对较低,且部分元素明显低于检出限,显示中高温特征,与前人流体包裹体测温成矿期温度 300 ~ 450°C 吻合。张伟等 (2018) 通过流体包裹体测温得成矿期均一温度约 300 ~ 400°C<sup>[3]</sup>。推测该阶段发生了沸腾作用 (流体不混溶),张旭波等 (2018) 鸡冠咀矿床流体包裹体测温数据可见,矽卡岩阶段成矿温度在 420 °C > 500°C,而硫化物阶段成矿温度在 250 ~ 400 °C,成矿流体从岩浆中分离出来后沿着先期构造运动和岩浆侵位产生的断裂和裂隙向上运移,到构造薄弱带,带气岩浆热液骤降,气体析出膨胀,发生气液隐爆,热液角砾岩与流体超压作用引起水力破裂有关,共同证实了流体沸腾混合作用的存在。

## 6.2 隐爆角砾岩热液流体性质

鸡冠咀岩体地球化学特征显示，鸡冠咀岩体以富集不相容元素，特别是强不相容元素 Ba、Sr，亏损 Nb、Ta，以及富集轻稀土元素为特征，表明岩浆源区可能为富集地幔<sup>[3]</sup>。鸡冠咀成矿流体早期以岩浆流体为主，来源于富集地幔的基性岩浆，在上升过程中经结晶分异作用逐渐演化为中-酸性等不同性质岩浆，早期以高温、高盐度，硫化物阶段集中在 300~400℃，晚期低盐、低密度。早期矽卡岩阶段和晚期矽卡岩阶段之间的均一温度和盐度相差不大，并且均一温度都明显高于石英-硫化物期<sup>[3]</sup>。

整体以流体包裹体类型多样以及强氧化性等为典型特征，随着成矿作用进行，成矿流体的均一温度、盐度含量都有明显下降，其原因是由于岩浆流体具有大量后期大气降水的加入，成矿流体由静岩压力转变为静水压力，这一阶段的成矿流体密度表现为逐步上升的过程。此后成矿流体主要沿裂隙上升，硫化物大量沉淀，晚矽卡岩矿物结晶大量耗水，加上热液沸腾，使流体密度变大，流体不断向上输送。

红色铁氧化物隐爆角砾岩，角砾岩胶结物汇总普遍发生赤铁矿化，赤铁矿多形成于浅成-超浅成开放氧化环境，大量铁氧化物的存在可能暗示隐爆流体受近地表酸性淋滤作用明显，导致流涕具有较强氧化性。

硅质胶结角砾岩中并未发现岩浆流体存在的证据，胶结物以石膏-石英矿物为主，显示热水沉积的特征。

碳酸盐胶结角砾岩中可见岩浆流体存在的证据，其中角砾为接触围岩的成分，除此之外，局部角砾可见钾化等，粒度偏大，指示冲击动力相对较小，部分角砾发生旋转。

硫化物胶结角砾岩为，主要形成于多金属成矿阶段。该阶段电子探针及微量元素研究结果显示，鸡冠咀矿床成矿流体显示中高温特征，相对贫铁富硫，前人在流体包裹体中发现深部岩浆活动的酸性组分气体，暗示隐爆角砾岩中存在深部岩浆来源。可能是地下水与岩浆的混合作用导致隐爆发生<sup>[43]</sup>。

### 6.3 隐爆角砾岩形成过程

鸡冠咀铜金矿床隐爆角砾岩形成存在必要的四个因素包括：起因、内因、外因以及基本构造条件。存在多期次、线状递变的特征<sup>[9]</sup>。起因是岩浆自下而上侵入，在上覆岩体屏蔽作用下，岩浆顶部的流体或气体聚集，在物理化学状态改变的条件下发生猛烈释放和爆炸。外因是外部条件改变，内因是挥发份从岩浆热液中析出并聚集，有利的构造条件是导致内外因素发生的条件，基本构造包括：形成深大断裂及其派生构造体系，为岩浆的快速上升提供了通道侵入定位的场所。鸡冠咀铜金矿床隐爆角砾岩体的形成以多期次、递变为特征，多期次表现在不同期次热液从深部岩浆房侵入构造薄弱带后，气爆发生在早期，随后发生浆爆产生隐爆浆屑角砾岩，最后是热液注入混合前期爆炸形成的破碎围岩行形成隐爆热液角砾岩。

鸡冠咀铜金矿床整体形成过程是大量中酸性岩浆在沿着深大断裂或各种通道，上升至鸡冠咀地区-400~-600m 构造薄弱带处后，近 400°C 岩浆热液温度骤降，其所受压力梯度也发生骤降，导致液体汽化、体积迅速膨胀，大量挥发分与气体析出。同时，深大断裂的脉动性与振荡性活动进一步促进了深部岩浆的气-液分异，加速了挥发分和气体的富含、聚集，最终诱发以气爆为前导的熔浆隐蔽爆破的发生，后期由于发生熔浆爆炸形成隐爆浆屑角砾岩，线状展布在封闭空间中，以隐爆浆屑角砾岩为中心，在逐渐远离隐爆中心的外围地区发育热液分异演变为不同性质的热液流体，涌入因隐爆和原有薄弱带所形成的巨大孔隙内，形成不同胶结物成分的隐爆热液角砾岩。最终在岩浆活动逐渐平静，隐爆作用逐渐停止。

### 6.4 隐爆角砾岩演化过程

早期岩浆活动中已经固结、半固结的岩体或岩石，在发生气爆和浆爆后，由于爆破作用，导致围岩产生破碎，从而形成一组爆破裂隙体系。岩浆析出的流体或气体顺着裂隙注入，造成岩体顶部的压力骤降，促使岩浆中的其余水分进一步析出，后期基于已发生物理化学变化的基础上，流体从岩浆中析出，导致不同角砾岩的混合和磨蚀、岩粉基质的形成，已析出气体的热液逐步分异成不同性质热液，胶结破碎的围岩及前期岩浆岩。

岩浆的迅速冷凝结晶并伴随压力的突然释放可能使围岩愈合，重新形成的固

体外壳的内部由于岩浆中其余水分的进一步析出再次形成高压气团的爆炸<sup>[6]</sup>。脆性破裂、角砾化和矿化的多次发生，从而导致鸡冠咀铜金矿床隐爆角砾岩形成多期次爆炸的演化结果。而在多期次爆破作用的过程中，流体与因隐蔽爆破而形成的大小不等的角砾、细屑等混杂，产生流化作用，带动固体微粒混合物、液体或气体等所形成的流体。在此过程中角砾、细粒碎屑等形成上下对流，不断磨蚀、粉碎。同时，热液进入裂隙体系中，发生蚀变、交代、矿化。

各岩浆岩角砾内部基本发生蚀变,且相同岩性角砾的蚀变组合具有空间分布性，因不同空间位置而不同，且蚀变情况主要是在接触带周围发育，如矽卡岩化和黄铜矿、黄铁矿化,局部发育且偶见交代矽卡岩矿物的半自形-它形浸染状磁铁矿；基本破碎的岩体与围岩之间被后期热液填充胶结，如碳酸盐、黄铁矿等。

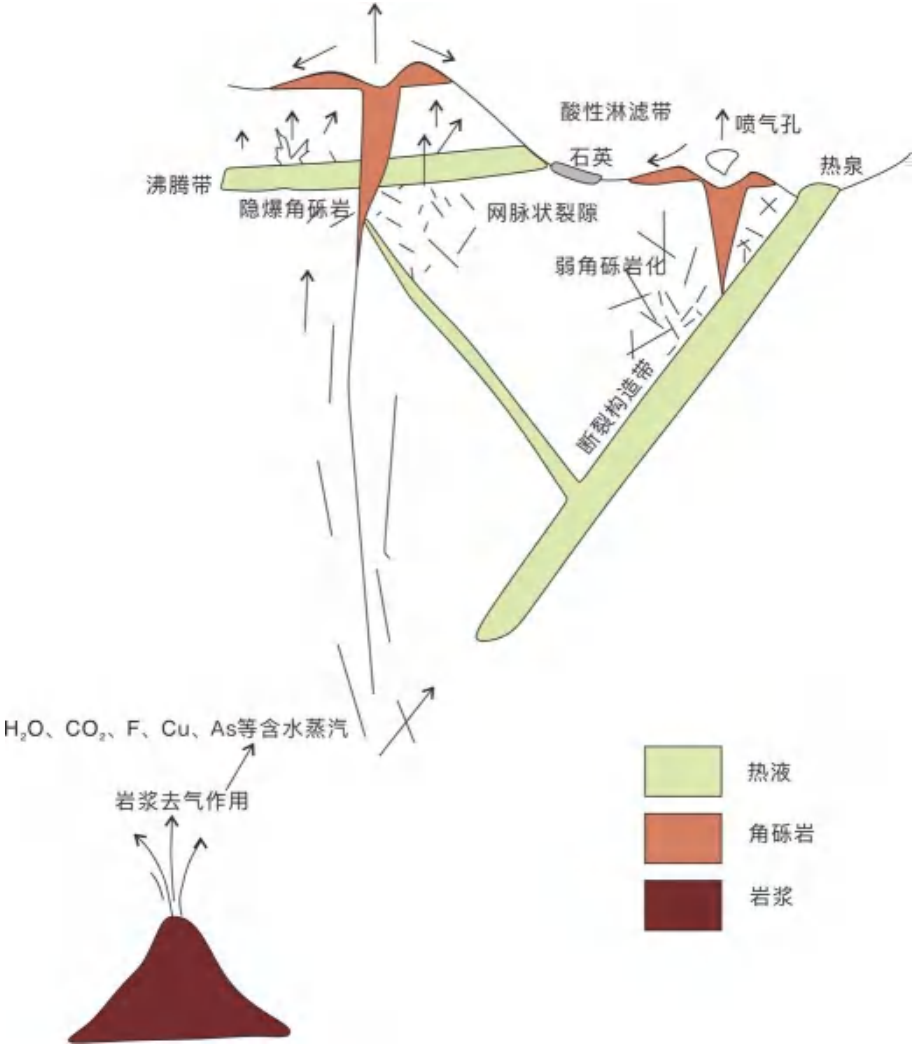


图 6-1 鸡冠咀隐爆角砾岩形成过程

## 6.5 隐爆角砾岩与成矿的关系

成矿作用过程大致可以确定为以下三个阶段（图 6-1）：

第一阶段：含矿隐爆角砾岩体的形成阶段。早期岩浆侵位结晶后，深部岩浆房中的岩浆经过裂隙等构造通道持续上升后汇聚，分异，形成高温、高压流体，后受热动力驱动上升到地壳浅部聚集，由于内外压力平衡被打破，在增压过程中，流体在局部圈闭下压力会逐渐增大，当其数值超过上覆岩的石静压力和岩石的抗张强度之和时，从岩浆中流出的流体迅速转化为气体而发生强烈爆破，使部分裂隙重新打开或进一步扩大，膨胀了的气体沿着裂隙射入，在那里通过水压破裂和顶蚀作用进而发生诱发了比较强烈的次火山隐爆作用形成隐爆角砾体。

第二阶段：富矿热液的形成和成矿物质分离阶段。岩浆房中的热液，上升，在上升过程中分化出，含挥发份和不相容元素的流体，同时接触围岩（如：早期侵位的石英闪长岩）时，发生交代作用分离出其中的成矿元素并融合，后形成富含成矿元素的热液，具有岩浆侵位的热动力推动下渗的大气降水沿着前期爆炸形成的裂隙体系，同时发生交代，活化破碎岩体，析出更多有用的成矿元素，混合形成富成矿组分的大气降水热液。

第三阶段：含矿热液混合与矿质沉淀阶段<sup>[34]</sup>。岩浆热液上升与含矿大气降水热液混合。随着温度、压力及一系列物理化学条件的改变，成矿金属元素因饱和而发生沉淀，并最终在隐爆角砾岩体以及石英闪长岩裂隙等构造空间中富集沉淀成矿。

## 第七章 结论及存在问题

### 7.1 论文结论

本文以鸡冠咀铜金矿床为研究对象，开展了详细的样品采集工作，结合室内岩矿学及矿床地球化学手段，明确鸡冠咀铜金矿床地质特征。在矿区深部识别出隐爆角砾岩，利用室内光薄片鉴定、电子探针、黄铁矿原位微量元素分析等方法对隐爆角砾岩特征进行了总结，分析了其成因机制，主要取得以下几点认识：

（1）鸡冠咀铜金矿床主要产于断裂-接触复合构造部位，三级及次级构造为主要赋矿区域。矿石构造主要为块状、浸染状构造等；矿石结构主要有交代结构、镶边结构等；围岩蚀变主要包括矽卡岩化和碳酸盐化等。根据手标本及镜下矿物共生组合、交代关系等，可将鸡冠咀铜金矿床成矿作用划为两期五个阶段。

（2）根据岩矿学及前人资料、地球化学数据等数据，将鸡冠咀矿区隐爆角砾岩分为了两大类隐爆角砾岩：隐爆浆屑角砾岩、隐爆热液角砾岩，蚀变以石英、绢云母、碳酸盐、绿泥石等矿物为主。

（3）查明了硫化物胶结隐爆角砾岩的地球化学特征，电子探针主量元素分析结果显示，硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿总体 S/Fe 为( $\sim 1.15$ )， $S/Fe < 2$ ，总体表现为 Fe 亏损，黄铁矿中 Fe、Cu、Pb、Mn、As 等元素含量相对较高，Au、Sb 等元素基本明显低于检出限。微量元素分析测试结果显示：硫化物胶结隐爆角砾岩中黄铁矿 Co/Ni 比值较为分散，总体介于 0.05 ~ 3.54 之间，黄铁矿中 Cu、Pb、Ag、As、Mo 等元素含量相对较高，W、Cd、Ge 等元素相对较低，且部分元素明显低于检出限。

（4）推测了隐爆角砾岩形成的深度及温压条件，隐爆角砾岩中黄铁矿 Fe/(S+As) 介于 0.85 ~ 0.87，As 含量多数低于岩浆热液及火山热液型黄铁矿中 As 的含量 ( $1500 \times 10^{-6}$ )，显示其形成于中部环境，Co/Ni 比值较为分散，总体介于 0.05 ~ 3.54 之间，显示中高温特征，与前人资料吻合。

（5）探讨了隐爆角砾岩的形成过程。岩浆上升，压力梯度和温度骤降，大量挥发份与气体析出，诱发气爆、熔浆隐蔽爆破，形成隐爆浆屑角砾岩，线状展布在封闭空间中，在逐渐远离隐爆中心的外围地区发育热液分异演变为不同性质的热液流体，包裹围岩及岩浆岩，形成不同胶结物成分的隐爆热液角砾岩。

## 7.2 存在的问题与不足

在实验过程中，在对实验结果进行解释分析时，也发现工作开展中存在以下几点不足：

（1）在开展野外地质调查时野外地质现象观察工作量较少，硅质胶结隐爆角砾岩样本较少，对于碳酸盐胶结角砾岩的界定尚模糊；

（2）本论文主要只利用硫化物胶结隐爆角砾岩黄铁矿主微量元素信息判断了隐爆角砾岩形成过程，尚未对比不同类型隐爆角砾岩元素含量信息变化，从而对整体隐爆角砾岩进行系统性分析，隐爆角砾岩的形成时间尚存在争论，相关的隐爆角砾岩与成矿模式的联系研究还需进一步开展和讨论。

## 致 谢

感谢中国地质大学（武汉）全体老师，特别感谢我的导师谭俊教授 4 年以来的提醒、教诲、指导以及在我每一次迷茫困顿的时候，留给我的时间和精力，真诚祝福谭老师万事顺意，未来的日子里我会更加成长成为您认可的学生。

真诚感谢我最亲爱的父母，一直照顾我，鼓励我，从未放弃我，信任我。

真诚感谢师兄赵岩岩、齐一凡、张铭、黄俊杰、刘晓阳、杨黎，教我作图、编程、认数据、用望远镜，帮我惦记着未来发展、论文细节处理等等，特别感谢赵岩岩师兄在论文上的指导、帮助和不厌其烦的回复我，麻烦各位师兄了，祝各位一切顺利。

感谢闺蜜吴佳琪、陈丹晨、张一淼、李贵莲和所有陪伴着我成长的朋友们，分享我们的生活、永远等待我、上心我的事情，祝各位一切顺利。

感谢一直照顾我的 208 及 603 的全体室友，特别周小倩、高亚仙、董洋、莫晓晋、肖萌长久以来不仅照顾我还时刻确定我能否照顾好自己活下去，感谢我的多个男或女朋友，加速我的成长。

感谢地大，让我 4 年足够丰富，在这里背过各种石头、看过各种诡异的化石、用过各种从未体验过的工具、玩过出野的梗、晒过山顶最毒的太阳、黑过应该我这辈子最夸张的肤色、踩过蛇、捉过蜜蜂、爬过教学楼顶用望远镜看星星、跑定向越野在南望山迷过路、练琴在北综被隔壁敲鼓的笑晕过、在地物楼地下室探过险。还有好多好多的事儿。几年来偷偷吐槽过地大很多次，但是依然热爱着这所学校，这里的人，这里的所有。

感谢资源勘查工程这个学科，让我知道没有什么是一定会过不去的，实在不行就参加一下周口店 5 点起 12 点睡的魔鬼作图生活。

人生的路一直在走，四年时间里，有过想放弃、逃离的时候，从大一的拼搏到大二的怀疑，最后大三的重整旗鼓，我体验着愚蠢的大学生清醒而又执着的四年，要感谢的人很多，谢谢大家一直的陪伴，帮助我解决问题，小陈会加油并且希望有一天成为大家的依靠，提笔落字，愿我爱的人和爱我的人身体健康一切顺利。

## 参考文献

- [1] 张伟. 鄂东南地区鸡冠嘴铜金矿床成因研究 [D]; 中国地质大学, 2015.
- [2] 张国胜, 金尚刚, 胡清乐, et al. 鸡冠嘴矿床构造特征及其控矿作用 [J]. 资源环境与工程, 2011, 25(01): 11-4.
- [3] 张旭波. 鄂东南矿集区鸡冠咀铜金矿床地球化学及成矿流体特征研究 [D]; 中国地质大学, 2018.
- [4] 程佳敏, 陈华勇, 张宇, et al. 鄂东南金牛火山盆地深部成岩成矿类型: 来自鸡冠嘴矿区火山角砾岩的指示 [J]. 大地构造与成矿学, 2022, 46(02): 318-33.
- [5] 张建斌, 朱志祥. 鸡冠嘴铜金矿床岩浆岩与成矿规律的认识 [J]. 黄金科学技术, 2005, (Z1): 2-5+20.
- [6] 蒋禹恒, 刘战庆, 崔丰智, et al. 隐爆角砾岩成岩成矿机制研究综述 [J]. 矿产与地质, 2019, 33(06): 1009-15+25.
- [7] 刘继顺, 马光, 舒广龙. 湖北铜绿山矽卡岩型铜铁矿床中隐爆角砾岩型金(铜)矿体的发现及其找矿前景 [J]. 矿床地质, 2005, (05): 60-9.
- [8] 余宏全, 丰成友, 张德全, et al. 西藏冈底斯中东段矽卡岩铜-铅-锌多金属矿床特征及成矿远景分析 [J]. 矿床地质, 2005, (05): 41-53.
- [9] 谢奕汉, 范宏瑞, 李若梅, et al. 河南祁雨沟爆破角砾岩型金矿床包裹体研究 [J]. 矿物学报, 1991, (04): 370-6.
- [10] 王胜权, 刘学武. 河北牛圈银矿隐爆角砾岩地质特征及控矿作用 [J]. 地质找矿论丛, 2009, 24(02): 139-41.
- [11] 何云龙, 魏俊浩, 谭文娟, et al. 山西堡子湾隐爆角砾岩型金矿矿床隐爆机制研究 [J]. 矿产与地质, 2008, 22(05): 377-80.
- [12] 贺根文, 刘翠辉, 李伟, et al. 赣南牛形坝银金多金属矿区隐爆角砾岩分带性及深部形态特征 [J]. 地质与勘探, 2015, 51(06): 1059-68.
- [13] 魏俊浩, 袁艳宾, 刘晓峰. 豫西杜关锰银矿田火山隐爆角砾岩特征及其形成机制 [J]. 地质论评, 1999, 45(S1): 631-5.
- [14] 黄民智, 陈伟十, 李蔚铮, et al. 广西龙头山次火山-隐爆角砾岩型金矿床 [J]. 地球学报, 1999, (01): 39-46.

- [15] 陈华. 福建宁德九曲岭含铜钨矿隐爆角砾岩筒地质特征及其找矿意义 [J]. 福建地质, 2011, 30(04): 278-85.
- [16] 陈云杰, 赵如意, 武彬. 甘肃龙首山地区茆岭铀矿床隐爆角砾岩发现及成因探讨 [J]. 地质与勘探, 2012, 48(06): 1101-8.
- [17] 王照波. 隐爆岩及其形成模式探讨 [J]. 地质找矿论丛, 2001, (03): 201-5.
- [18] 周济元, 崔炳芳, 陈世忠, et al. 江西会昌红山隐爆角砾岩筒及其成因和动力学 [J]. 成都理工学院学报, 1998, 25(2): 261-8.
- [19] 蒋少涌, 段登飞, 徐耀明, et al. 长江中下游地区鄂东南和九瑞矿集区成矿岩体特征及其识别标志 [J]. 岩石学报, 2019, 35(12): 3609-28.
- [20] 翟裕生 姚, 林新多. 长江中下游地区铁铜矿床 [J]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [21] 谢桂青, 朱乔乔, 姚磊, et al. 鄂东南地区晚中生代铜铁金多金属矿的区域成矿模型探讨 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(4): 418-26.
- [22] 何迪, 谭俊, 刘晓阳, et al. 湖北大冶铜山口斑岩-矽卡岩型铜钼矿床包裹体特征及流体演化意义 [J]. 地质科技通报, 2020, 39(05): 97-108.
- [23] 许高, 张世涛, 陈华勇, et al. 矿物地球化学勘查方法在鄂东南地区深部找矿中的初步应用 [J]. 资源环境与工程, 2018, 32(04): 681-7.
- [24] 程孝增, 王登, 刘冬勤, et al. 1:100000 比例尺区域地质图修编方法探讨——以鄂东南区域地质图修编为例 [J]. 科学技术创新, 2022, (24): 173-6.
- [25] 李正汉. 鄂东南矿集区控矿构造及其抬升剥蚀的裂变径迹热年代学约束 [D]; 中国地质大学, 2018.
- [26] 赵岩岩, 谭俊, 刘晓阳, et al. 湖北大冶铜绿山矽卡岩型铜铁(金)矿床包裹体特征及其地质意义 [J]. 地质科技通报, 2020, 39(6): 64-74.
- [27] 舒全安 陈, 程建荣, 等. 鄂东铁铜矿产地质[M] [J]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
- [28] 边建华. 鄂东金山店—灵乡地区矽卡岩型铁矿床构造控矿规律研究 [D]; 中国地质大学, 2016.
- [29] 谢桂青, 李瑞玲, 蒋国豪, et al. 鄂东南地区晚中生代侵入岩的地球化学和成因及对岩石圈减薄时限的制约 [J]. 岩石学报, 2008, 24(08): 1703-14.
- [30] XIE G, MAO J, XIONGWEI L, et al. Late Mesozoic bimodal volcanic

- rocks in the Jinniubasin, Middle-Lower Yangtze River Belt (YRB), East China: Age, petrogenesis and tectonic implications [J]. *Lithos*, 2011, 127(1): 144-64.
- [31] 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, et al. 鄂东南地区大型矽卡岩型铁矿床金云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素年龄及其构造背景初探 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(8): 1917-27.
- [32] 邱永进. 鄂东鸡冠嘴铜(铁)金矿床的地质特征及成因 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 1995, (02): 77-82+69.
- [33] 段登飞, 蒋少涌. 鄂东南矿集区鸡冠嘴矽卡岩型金铜矿床含矿岩体中辉石和角闪石成分变化特征及其对岩浆演化和成矿的指示意义 [J]. *岩石学报*, 2017, 33(11): 3507-17.
- [34] 谢巧勤, 孙锐, 徐晓春, et al. 安徽宣城茶亭铜金矿床隐爆角砾岩特征及其成矿意义 [J]. *高校地质学报*, 2020, 26(03): 255-64.
- [35] ZHANG F, WILLIAMSON B J, ROLLINSON G K, et al. A mineralogical investigation into the formation of ore-barren endoskarn: An example from the Tonglushan porphyry system, eastern China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2023, 157: 105441.
- [36] 张宏睿, 杨立强. 胶状黄铁矿成因类型与鉴别特征 [J]. *地质通报*, 2022, 41(06): 1039-52.
- [37] 范宏瑞, 李兴辉, 左亚彬, et al. LA-(MC)-ICPMS 和 (Nano)SIMS 硫化物微量元素和硫同位素原位分析与矿床形成的精细过程 [J]. *岩石学报*, 2018, 34(12): 3479-96.
- [38] 代许可, 聂开红, 蒋达源. 鄂东南矽卡岩型多金属矿床成矿岩体中黄铁矿微量元素特征及其意义 [J]. *资源环境与工程*, 2022, 36(01): 8-16.
- [39] 阿卜杜萨拉木·喀迪尔, 陆继龙, 范玉超, et al. 胶东地区笏山金矿床黄铁矿微量元素特征及其成矿指示意义 [J]. *黄金*, 2023, 44(04): 57-62.
- [40] 张红雨, 翟德高. 某些矿床中硫化物的硒硫比值及其地质意义探讨 [J]. *矿床地质*, 2010, 29(S1): 545-6.
- [41] 周闯, 杨振, 王新宇, et al. 广西建旺铅锌矿床硫化物微量元素组成特征 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2023, 42(02): 298-311.
- [42] 王睿. 从江翁浪地区蚀变岩型金矿微量元素地球化学特征 [J]. *地球学报*, 2009, 30(01): 95-102.
- [43] 张宇, 陈华勇. 黄铁矿微量元素对矽卡岩型矿床成矿作用的指示: 以鄂

---

东南鸡冠咀金-铜矿床为例, F, 2021 [C].