

中华人民共和国地质矿产部

地 质 专 报

四 矿床与矿产第 30 号

紫金山铜金矿床蚀变
和矿化分带

张德全 李大新 赵一鸣 著
陈景河 李子林 张克尧

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

紫金山铜金矿床是“七五”期间在地质工作程度较高的我国东部地区发现的新类型矿床。本专著首次对该矿床的成矿地质环境、矿床地质特征和成矿作用进行了阐述和探讨；比较详细地描述了交代蚀变岩的岩石学、矿物学特征及其时空分布特点；探讨了蚀变和矿化之间的成因联系；根据矿床特征的蚀变与矿化分带，并与国内外不同类型矿床的对比，提出了矿床的成矿模式和找矿评价标志。

本专著仅是对紫金山铜金矿床的初步总结，可供从事矿床地质研究和勘查的地质工作者以及高等院校师生参考。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报
四 矿床与矿产第 30 号
紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带
张德全 李大新 赵一鸣 等著

*

责任编辑：谭惠静
地质出版社出版发行
(北京和平里)
北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路 29 号)
新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：5.25 铜版图：2 页 字数：119000
1992年12月北京第一版·1992年12月北京第一次印刷
印数：1—700 册 定价：4.05 元
ISBN 7-116-01179-X/P·996

前 言

“福建省上杭紫金山铜金矿床蚀变分类和矿化分带”系地质矿产部批准的1989年度定向科研基金项目，由福建省地质矿产局委托矿床地质研究所承担，福建省地质矿产局闽西地质大队协作，共同完成。矿床地质研究所张德全、李大新、赵一鸣和闽西地质大队陈景河、李子林、张克尧六人组成研究组，于1988年10—11月、1989年10—11月两次进行矿区及外围地质观测、取样和蚀变岩石野外地质填图。同时，在室内进行了2000多件各类岩矿样品的镜下观测和分析测试。在取得大量野外和室内资料的基础上，编写出研究报告。除报告第二章由李大新执笔外，其余由张德全执笔并统编，最后由赵一鸣定稿。本书就是在该研究报告的基础上，由张德全、李大新负责修改而成。

目前查明，紫金山矿床的金矿达中型规模、铜矿达大型规模。紫金山地区铜矿找矿的重大突破，不仅为在工作程度较高的我国东部地区寻找大型铜矿开了先河，也为我国中生代火山岩地区浅成低温热液型铜金矿床的研究提供了范例。

在有关部门的领导和支持下，本书作者通过对蚀变岩石野外地质填图和室内岩矿样品测试，编制了矿床蚀变岩石地质图，查明了矿区围岩蚀变类型、时空分布及元素组合特征；从多角度研究了矿区铜、金矿化分带及相关元素的组合特征；用多种方法和手段研究了蚀变-矿化的地球化学机制，尤其是通过流体包裹体研究，发现了与蚀变和成矿有密切成因联系的沸腾包裹体；对矿区控矿构造进行了探讨，提出北西向构造及网脉状裂隙系统是主要的容矿构造；并通过与国外和国内邻区大量矿床资料的分析对比，认为紫金山矿床是我国大陆首例与燕山晚期火山-潜火山热液活动有关的石英明矾石型浅成低温热液铜金矿床，其特征的蚀变和矿化分带、特征的流体包裹体均一温度和热液隐爆角砾岩，是隐伏的铜、金矿体重要的找矿标志。

近年来，在我国东部广大的中生代陆相火山岩地区，陆续发现了一批浅成低温热液型金、银、铜、铅、锌矿床。这类矿床的成矿环境、控矿因素和找矿评价标志，是迫切需要总结和研究的。我们希望，本书的出版，能在这方面起一个抛砖引玉的作用。

福建省闽西地质大队、八队，尤其是闽西地质大队八分队，在野外工作期间给予了我们极大的支持和帮助，本书也是建立在他们的工作成果基础上的。孙善平教授在百忙之中对热液隐爆角砾岩的确认和定名给予了协助。谨此对上述单位和个人，以及许多其他对本书提供过帮助的人们，表示衷心的感谢。

目 录

| | |
|-----------------------------|------|
| 第一章 矿床地质..... | (1) |
| 第一节 区域地质环境 | (1) |
| 第二节 围岩 | (2) |
| 第三节 控矿构造..... | (3) |
| 第四节 燕山晚期火山-侵入岩 | (4) |
| 第五节 热液隐爆角砾岩 | (5) |
| 第六节 铜金矿体 | (6) |
| 第二章 蚀变分带 | (8) |
| 第一节 蚀变岩石地质填图 | (8) |
| 第二节 蚀变岩石学及矿物学 | (9) |
| 第三节 蚀变岩石矿物组合和化学成分变化规律 | (15) |
| 第四节 蚀变岩石的时空分布 | (24) |
| 第三章 矿化分带..... | (27) |
| 第一节 金属矿物及其组合的时空分布 | (27) |
| 第二节 金属元素的空间分布 | (38) |
| 第三节 矿化分带型式..... | (8) |
| 第四章 流体包裹体..... | (45) |
| 第一节 流体包裹体分类 | (45) |
| 第二节 流体包裹体特征及状态参数 | (45) |
| 第三节 流体沸腾 | (51) |
| 第五章 蚀变、成矿机制及找矿评价标志 | (56) |
| 第一节 蚀变和成矿时代 | (56) |
| 第二节 成矿物质来源 | (56) |
| 第三节 矿物相平衡和成矿模式 | (61) |
| 第四节 找矿评价标志 | (65) |
| 结 语..... | (67) |
| 参考文献 | (69) |
| 照片及照片说明 | (71) |
| 英文摘要 | (77) |

Contents

| | |
|---|--------|
| Chapter 1 Geology of the Deposit | (1) |
| 1.1 The regional geological environment..... | (1) |
| 1.2 Country rock..... | (2) |
| 1.3 Ore-control structure | (3) |
| 1.4 Later Yenshanian volcanic and intrusive rocks..... | (4) |
| 1.5 Hydrothermal breccia..... | (5) |
| 1.6 Copper and gold orebodies..... | (6) |
| Chapter 2 Alteration Zoning | (8) |
| 2.1 Geological mapping of altered rocks..... | (8) |
| 2.2 Petrology and mineralogy of altered rocks..... | (9) |
| 2.3 Mineral assemblages and chemistry of altered rocks..... | (15) |
| 2.4 Space-time distribution of altered rocks..... | (21) |
| Chapter 3 Mineralization Zoning | (27) |
| 3.1 Space-time distribution of metallic minerals and its assem- blages | (27) |
| 3.2 Distribution of metallic elements..... | (38) |
| 3.3 The model of mineralization zoning..... | (43) |
| Chapter 4 Fluid Inclusion | (45) |
| 4.1 Types of fluid inclusions..... | (45) |
| 4.2 Characteristics and condition parameters of fluid inclusion..... | (45) |
| 4.3 Fluid boiling | (51) |
| Chapter 5 Mechanism of Alteration and Mineralization and Ore Guides of Prospecting | (56) |
| 5.1 The age of alteration and mineralization..... | (56) |
| 5.2 Sources of ore-forming materials..... | (56) |
| 5.3 Mineral phase equilibrium and metallogenic model..... | (61) |
| 5.4 Ore guides of prospecting..... | (65) |
| Conclusions | (67) |
| References | (69) |
| Photomicrographs and Explanations | (71) |
| Abstract in English | (77) |

第一章 矿床地质

第一节 区域地质环境

紫金山矿床位于闽西北武夷隆起区的边缘与闽西南海西-印支拗陷的过渡带、中生代东南沿海火山活动带的西部内陆部位。区域上,前中生代地层构成北东向宣和复式背斜,侏罗纪火山-花岗岩带沿背斜两翼的北东向断裂带分布。从晚侏罗世晚期开始到白垩纪,区域上以北西向为主的燕山晚期火山活动带叠加于燕山早期火山-花岗岩带之上,组成紫金山地区十分复杂的构造-岩浆活动图像。也正是这种复杂的、多次构造-岩浆事件的叠加演化,才为紫金山矿床的形成提供了优越的地质环境。

在上述区域成矿地质环境中,有两点是必须强调的。

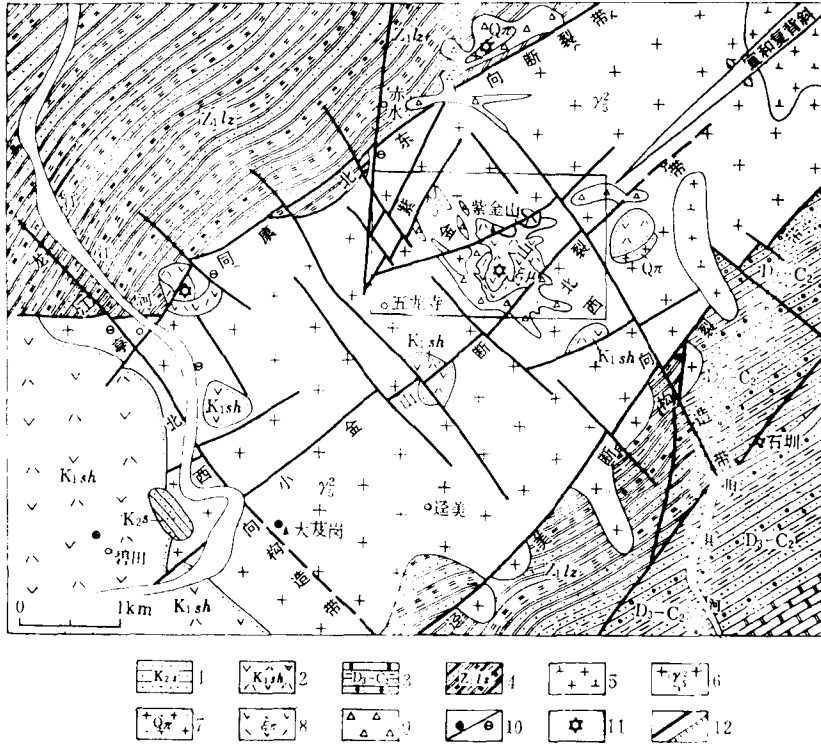


图 1 紫金山地区地质略图
(根据闽西地质大队八分队资料改编)

Fig. 1. Geological sketch map of the Zijinshan region.

1—上白垩统沙县组砂岩、粉砂岩; 2—下白垩统石帽山群中酸性火山岩; 3—上泥盆-中石炭统石英砂砾岩、砂岩、泥岩及灰岩; 4—下震旦统楼子坝群变质粉砂岩、砂岩、千枚岩等; 5—燕山晚期花岗闪长岩; 6—燕山早期花岗岩; 7—石英斑岩; 8—英安玢岩; 9—隐爆角砾岩; 10—金/铜矿(化)点; 11—火山机构; 12—断裂和不整合

1. 紫金山地区主要处在北东和北西向两组大断裂的交汇部位，但是北西向深大断裂带（上杭-云霄深断裂）尤为重要，因为它可能在白垩纪时期再次强烈活动，交汇于北东向断裂带上，而且其性质是以引张为主。“七五”期间，我们在中国东部隐伏矿床预测研究过程中，比较系统地对比过有关地区的成矿地质环境，发现东部中生代火山岩带有比较复杂的时空演化。其中，福建沿海侏罗纪火山-花岗岩带呈北东向展布，是挤压环境下与上部机制有关的岩浆作用产物。晚侏罗世之后，该区逐渐转入引张状态，尤其在靠近内陆部位，出现受北西向深大断裂（拉张）控制的白垩纪火山岩断陷盆地，这可能标志着大陆裂谷活动的开始。上杭-云霄燕山晚期火山喷发盆地主要呈北西向叠加于北东向的燕山早期火山岩带之上。应当指出，与北西向构造关系更密切的燕山晚期火山岩与以北东向构造为主的燕山早期火山-花岗岩是不同的。前者具双峰特点，与深部机制有关，与铜多金属矿产的关系更密切，不仅有规模大的紫金山铜金矿，钟腾斑岩型铜钼矿也正是处在这个北西向带上。后者则与钨锡多金属矿的关系可能更密切些。

2. 紫金山矿床处在燕山晚期火山岩盆地（上杭盆地）的边部。在这里，火山岩地层几乎剥蚀殆尽，而高侵位、浅剥蚀的潜火山-超浅成小侵入体（英安玢岩）仅仅是初露端倪（图 1）。紫金山铜金矿床是与燕山晚期火山-潜火山活动有关的浅成低温热液矿床，在英安玢岩深部也可能还会有潜火山-斑岩型矿床。尽管目前该区矿床成矿系列尚不十分清楚，但从紫金山矿床（浅成低温热液型铜矿）的成矿机制来看，它不太可能产在火山地层覆盖较厚的地段，但如果潜火山-斑岩遭受较深的剥蚀，充其量也只能出现类似于钟腾那样的中、小型斑岩铜（钼）矿床。

因此，在紫金山式铜金矿床的找矿工作中，应该充分考虑上述两个因素。

第二节 围岩

1. 前中生界

下震旦统楼子坝群浅海相细碎屑岩（已受浅变质）是紫金山地区的基底地层。上古生界（包括上泥盆统天瓦栋组、桃子坑组及下石炭统林地组、中石炭统黄龙组）为一套滨海-浅海相碎屑岩夹碳酸盐岩。上述地层构成北东向复式褶皱，下震旦统分布于复式背斜核部，上古生界依次于两翼呈北东向展布（图 1）。岩石微量元素测试结果表明（陈景河等，1989）^①，上述地层的金、铜含量较低。其中，中、上泥盆统含金稍高（20 件样品平均为 2.54×10^{-9} ），林地组含铜稍高（6 件样品平均为 24.1×10^{-6} ）。区域上是否存在金或铜的局部地球化学富集场有待今后的进一步工作。

2. 燕山早期花岗岩

燕山早期花岗岩是紫金山矿床矿体的主要围岩。对矿区及外围燕山早期花岗岩，福建省区调队及闽西地质大队已做过较多的工作。

紫金山花岗岩是一个呈北东向延长的复式岩基。其主体由似斑状中粗粒碎裂花岗岩中粒花岗岩和细粒白云母花岗岩构成。在矿区中主要出露中粒花岗岩，矿区西北端的 27 线附近有部分粗粒花岗岩。由于燕山晚期的火山岩浆作用，矿区中花岗岩多已蚀变得面目皆

^① 陈景河等，1989，福建省上杭紫金山地区金矿的研究及远景预测（研究报告）。

非，其中迪开石、绢云母、明矾石及热液成因石英广泛出现，与之相伴的黄铁矿亦呈稀疏浸染状或细微脉状产出。尤其是铜、金矿体两侧的花岗岩，大多已成为紫金山矿床中独具特色的热液隐爆角砾岩和震碎角砾岩。

花岗岩的主元素、微量元素和稀土元素含量见第二章的有关部分。

燕山早期花岗岩锆石的 U-Pb 年龄为 157 Ma，粗粒碎裂花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 145 Ma， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.7129 (陈景河等，1989)。较多的资料说明，本区燕山早期花岗岩是与挤压机制有关的区域燕山早期火山-花岗岩带的组成部分，它可能是与钨、锡、多金属矿有关的壳源重熔花岗岩类。

第三节 控矿构造

北东向断裂带及北西向断裂带组成的网格状构造是紫金山地区主要的构造格局 (图 1)。这一格局主要奠定于燕山晚期。

同康断裂带、紫金山断裂带、小金山断裂带、迳美断裂带等一系列北东向断裂带，构成本区北东向断裂带。燕山早期，这一组断裂最为活跃并显示压扭性质，是区域燕山早期火山-花岗岩带的主要控岩构造。

燕山晚期，北东向断裂因燕山早期花岗岩浆的“焊接”，活动性相对减弱。而持续的南北向逆时针扭动应力场，导致北西向构造的发育和张开。龙江亭和紫金山两条较大的北西向断裂，是区域北西向上杭-云霄深断裂带的一部分。它们由走向 300° — 330° (倾向一般为北东，倾角一般为 40° — 55°) 的一系列密集分布的断裂裂隙带所构成。

北西向断裂和北东向断裂的持续活动，导致区域燕山晚期上杭火山断陷盆地的发育和演化。其中，北东向断裂常常是上升或下降地块的边界，而两组断裂的结点 (即交汇部) 则多半成为火山活动中心。区域上已发现的多个火山机构，如紫金山、二庙沟、赤水等以及燕山晚期中酸性浅成-超浅成侵入体都分别出现在上述构造结点上。但是，燕山晚期的火山活动，主要受北西向的上杭-云霄深断裂控制。紫金山矿床中铜金的成矿作用，也主要与燕山晚期的火山活动有关。

紫金山矿区位于紫金山北西向构造带的中部 (图 1)。矿区内以北西向构造最发育，北东向构造次之，偶见近东西向的断裂带 (图 2)。

紫金山潜火山英安玢岩受北西和北东向断裂的复合控制，北西向断裂起主导控制作用。不但英安玢岩总体上呈北西向展布，而且小岩体西北和东南部的隐爆角砾岩大多也呈北西走向。根据一系列资料的推断 (在后面的章节中将陆续阐述)，英安玢岩深部向北西倾伏。因此，北西向断裂是火山-潜火山岩浆活动的主要通道。在矿区东北部的铜矿沟一带，英安玢岩向北东方向突出，是北东向断裂控制的结果。火山-潜火山活动对上部围岩的顶拱作用，进一步促进了北西向张扭性裂隙的发育。这些延深不大的北西向裂隙是紫金山矿床的最重要的容矿构造。与火山-潜火山活动有关的含矿热水溶液上升到浅部这些密集的裂隙带部位时，即进入近于开放的系统，产生减压沸腾和隐蔽爆破。水热流体的隐爆作用使裂隙更加发育，并导致形成网脉状裂隙系统。冷凝的酸性含矿热水沿这些网脉状裂隙系统交代、充填，从而形成网脉状、细脉浸染状、浸染状、块状铜矿石。因此，矿床中极重要的容矿构造应属于这一类经反复构造活动形成的网脉状裂隙系统。这种裂隙系统在

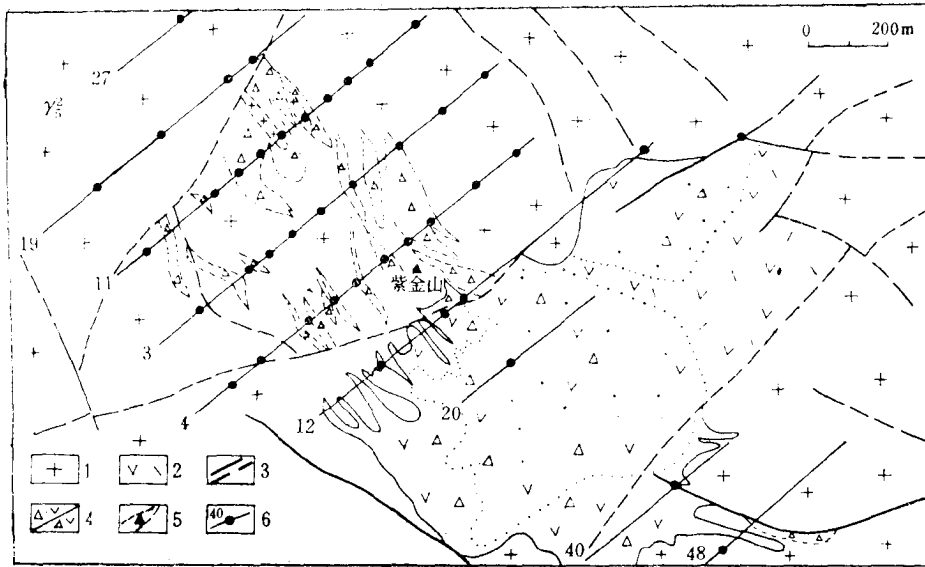


图 2 紫金山铜金矿床地质略图

(据闽西地质八分队资料略作修改)

Fig. 2. Geological sketch map of the Zijinshan copper-gold deposit.

1—蚀变花岗岩；2—蚀变英安玢岩；3—断裂；4—火成角砾岩；5—热液隐爆角砾岩脉；6—勘探线编号及钻孔

钻孔中的主要矿化部位和坑道中的主要矿化部位（如 520 中段的坑道中）均可见到。

从总体上看，铜矿化带呈北西走向，向北东倾斜。但是单个矿体的形态并非是具单一倾向和走向的脉状体。据目前的资料分析，单个矿体的空间几何形态是十分复杂的。这是由于矿体的空间分布受上述网脉状裂隙系统控制的结果。这也正是矿区 520 中段坑道中的铜矿体与剖面上据钻孔资料勾绘的矿体产状很不一致的原因所在。

第四节 燕山晚期火山-侵入岩

一、火山机构

紫金山矿区中部，紫金山顶之东南侧，是一个以英安玢岩为中心的火山机构剥蚀残留体。该火山机构中心呈环状，地貌上呈直径约 700m 的环形洼地。它的最中心部位是英安玢岩（地表似呈一小岩株），其外侧环绕着英安质火山角砾岩、角砾凝灰岩以及少量呈北西-南东和北东方向延伸的火山隐爆角砾岩脉。因此，潜火山-超浅成侵入体、喷发-爆发相的火山碎屑岩和火山岩沿火山机构呈环状套叠分布，这是我们判断紫金山火山机构的主要证据。该火山机构遭受较强烈的抬升剥蚀，其中喷溢相岩石所剩极少，沿火山机构中心侵入的英安玢岩已出露地表。

二、火山-潜火山超浅成侵入体

1. 火山碎屑岩：主要出露于矿区中部偏东，环英安玢岩断续分布，并且延深不大，多残留于英安玢岩之上。如矿区东部蘑菇岩处，英安质火山角砾岩呈直径仅数米的蘑菇状，覆盖于英安玢岩之上。矿区火山碎屑岩有火山角砾岩和角砾凝灰岩两种岩石类型。其

碎屑成分复杂，既有英安玢岩，也有花岗岩的角砾和岩屑，还有晶屑、浆屑和玻屑。其胶结物以熔岩物质为主，虽几经蚀变，但熔岩的特点在镜下仍可辨认出来。这是矿区中火山碎屑岩与热液隐爆角砾岩的重要区别之点。

2. 火山隐爆角砾岩；呈脉状体，既侵入于火山机构中心四周的燕山早期花岗岩中（较少见），也出现在火山机构的边缘部分。位于火山机构边缘部分的火山隐爆角砾岩与喷发相的火山角砾岩一般难以分辨。作者是在火山机构的边缘部分或英安玢岩的深部，发现有些角砾岩或碎屑岩向下呈脉状体延伸，才得以确认其隐爆特点的。

3. 潜火山超浅成侵入体：火山机构中心的英安玢岩小岩体，是潜火山超浅成侵入体。英安玢岩在地表上呈直径为 200—400m，向北西和北东凸出的螃蟹状体。西北部及铜矿沟一带，可见北西和北东向英安玢岩脉侵入于花岗岩中。根据目前资料推测，该岩体在深部可能分别向北西和北东倾伏，可能在矿区西北部不太深的部位，隐伏有该岩体的主体部分。这从蚀变和成矿温度可予以佐证（详见第四章）。本矿床的铜矿化和石英、明矾石蚀变的温度区间为 300—160℃。这样高的温度，如果仅靠矿脉旁侧 1—2m 宽的英安玢岩脉的加热是远远不够的。根据热传递效应，必须在数百米之内，有较强的热源作为“热驱动器”才有可能。而且，现代火山热泉超过 200 的记录也是绝无仅有的。

英安玢岩呈灰-灰白色，地表常氧化成浅褐色；具斑状-显微斑状结构，斑晶含量在 25—30% 之间，主要为斜长石，还有少量钾长石和石英，暗色矿物斑晶极少见；基质为长英质微晶或隐晶质。岩石蚀变强。英安玢岩以较低的酸度、轻稀土富集、钨亏损较弱与燕山早期花岗岩相区别。另外，较低的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值（0.709，据陈景河等，1989），反映燕山晚期岩浆活动具有下地壳源区特点，也说明本区铜金矿床的主要金属组分来源较深。

第五节 热液隐爆角砾岩

紫金山矿床中角砾状的岩（矿）石（包括碎屑粒度小于 2 mm 的碎屑岩），不但频繁出现，而且其成因和类型也较复杂。因为其中有相当大的一部分是矿体围岩，有的本身就是矿石，因此，我们对它做了不少工作。

本区角砾状的岩石可分为热液隐爆角砾岩、火成（岩浆）角砾岩和构造角砾岩三类。其中热液隐爆角砾岩主要分布于矿区中西部英安玢岩外围，呈北东走向的脉状体；矿区东北部铜矿沟的热液隐爆角砾岩则主要呈北东向脉状体。热液隐爆角砾岩是矿区中角砾岩的主体。

构造角砾岩仅见于断裂破碎带中，虽亦呈线状分布，但与围岩之间有较严格而截然的边界。这部分角砾岩数量不多。

火成（岩浆）角砾岩包括火山角砾岩、火山角砾凝灰岩（它们均属喷发-爆发相）和隐爆角砾岩及其凝灰岩，甚至还有部分震碎角砾岩。这类角砾岩主要见于英安玢岩周围，呈不太连续的环状体，亦有少量呈脉状体存在于英安玢岩旁侧的燕山早期花岗岩中。火山角砾岩和隐爆角砾岩有大致相同的形成机制和物质组成，只不过前者常形成于地表，后者仅在地表之下一定距离内才能形成，并可呈脉状体“侵入”于其它岩石中。火成（岩浆）角砾岩的特点之一是主要发育于火山机构中，并主要呈外环套合于火山口周围很短的距离

内。另一个重要的特点是它具有岩浆成因。因此，不管其角砾成分多么复杂（有火山岩，也有围岩角砾），但它的胶结物必须是熔岩物质。尽管蚀变强，但在镜下总可以在这些角砾岩的胶结物中发现一些熔岩物质的迹象。

而角砾是交代岩（如石英明矾石交代岩、石英迪开石交代岩或硅质交代岩等），胶结物也是典型的水热沉积产物；甚至角砾就是斑块状铜矿石，而胶结物是石英、明矾石和浸染状的铜矿物的那种角砾岩（这在矿区是常见的），绝不可能是火成（岩浆）成因的角砾岩，而应是热液隐爆角砾岩。

矿区蚀变岩石中，尤其在矿区中部和西北部蚀变岩石中的角砾岩具有明显的热液成因。关于这类热液隐爆角砾岩的岩石学特征，以及其成因机制，我们将在以后的章节中讨论。在此我们只重复下列三点：

1. 这种热液隐爆角砾岩虽然受断裂裂隙控制，但它们以没有极截然的顶底界面与构造角砾岩相区别。它们也以胶结物全为水热沉积产物而与火成（岩浆）角砾岩相区别。尽管有时热液隐爆角砾岩的角砾具变余花岗岩结构或变余斑状结构，但其胶结物中绝不会出出现熔岩物质的踪迹。

2. 矿区主要蚀变带中大量沸腾包裹体的发现（见第四章），说明蚀变-矿化水热流体曾在某些地段发生过广泛的沸腾和去气化过程。这是水热隐爆形成热液隐爆角砾岩的主要机制，与岩浆隐爆角砾岩有比较类似的形成过程。但它们有不同的形成时代和不同的物理化学条件，它们更有不同的物质组成。

3. 因为找矿是我们的第一目的，所以才十分强调热液隐爆角砾岩。经概略的统计发现，几乎所观察的所有见矿钻孔，在其主要铜矿体中或它的旁侧，必定有热液隐爆角砾岩。这种热液隐爆角砾岩与主矿体在空间上形影相伴（有些热液隐爆角砾岩本身就是较富的铜矿石）是重要的找矿评价标志。故此，将热液隐爆角砾岩和火成（岩浆）角砾岩区分开，也是矿床勘查评价中必需解决的实际问题之一。

第六节 铜金矿体

紫金山矿床的总体地质工作程度不高，铜矿和金矿的深部勘查主要局限于西北地段。金矿体主要隐伏于硅质交代岩带的氧化带中，即 650m 标高之上。铜矿体则基本上隐伏于 650m 标高以下的原生带（石英明矾石蚀变岩带内）。因此，金属矿体的空间分布即显示出清晰的“上金下铜”型式。

一、矿体赋存部位、产状和形态

金矿已发现 4 个北西向矿化带，近 30 个工业矿体。矿化带宽 40—200m，延长 100—500m，延深 150—350m，矿化带含金一般在 1×10^{-6} 以上。主要矿化带与地表所圈定的由英安岩中向北西部伸出的硅质交代岩带几乎完全吻合。矿体呈脉状体成群出现在矿化带中（见第二章图 9、图 10）。单一矿体厚 0.7—7m，延长几十至百米不等，延深几十米至 200m，呈脉状、透镜状，部分变厚加富部位呈囊状体，形态较复杂。在走向和倾向上其品位和厚度变化极大。脉状矿体总体走向为 290° — 320° ，倾向北东，倾角 40° — 60° 。

金工业矿体一般均隐伏于地表之下数十米范围内。除受硅质交代岩带控制外，金矿体还严格受裂隙密集程度控制。往往裂隙密集、岩石强烈破碎地段，矿体含量高。另外，氧

化程度也是金矿石贫富的重要控制因素。一般地表氧化过深，褐铁矿大多流失，岩石中黑褐色空洞中多为风化黄泥砂充填，因而地表很少有含金高于 1×10^{-6} 的地段。但地表之下不深处氧化程度较地表弱，质地疏松的褐铁矿呈团出现在大小不等的孔洞中（800 中段坑道的富金地段常见到直径 0.1—0.2m 的洞穴）。这些孔洞中，除大量褐铁矿外，还有许多石英砂粒，但较少黄泥。从这些孔洞的堆积物中可淘洗出较多自然金颗粒。苏联学者曾用褐铁矿中的黄铁矿残晶和风化黄泥来衡量氧化带金的成熟度，这种办法有一定的道理。

目前所发现的铜工业矿体，基本上多在英安玢岩北西侧外接触带，隐伏于 650m 标高之下的石英明矾石蚀变岩带中（见第二章图 9、图 10）。铜矿化带呈北西向，受北西向断裂、裂隙和网脉状裂隙系统联合控制。按产状反映到地表，刚好与地表出露的北西向的石英明矾石蚀变带相吻合（图 8）。铜矿体走向主要为北西，倾向主要为北东，但亦有的倾向相反，倾角多变。矿体延长可达几百米，延深 100—400m。其形态复杂，有时呈脉状，有时呈囊状或透镜状。据我们推测，铜矿化带总体上可能近于“似层状体”，与石英明矾石蚀变带“整合”在一起。矿体厚度变化大，一般 0.7—15m。矿石品位变化亦大，浸染状矿石含铜 0.3—1%，脉状或块状矿石铜含量高于 1%，最高达 10.44%。铜矿体中局部含金达 1×10^{-6} 。

铜矿体中或上、下的石英明矾石交代岩中常常有热液隐爆角砾岩。

二、矿石

金矿石基本上全为氧化矿石。金属矿物含量变化大，主要为褐铁矿、针铁矿、赤铁矿，还有少量黄铁矿、自然金等。脉石矿物绝大部分为不同世代的石英。金主要以自然金的形式存在于矿石中（成色高）。

铜矿石中，金属矿物总量一般在 5% 上下，主要有黄铁矿、蓝辉铜矿、铜蓝、硫砷铜矿；脉石矿物为石英、明矾石、迪开石、绢云母等。偶见极微细的自然金（成色低）与硫砷铜矿等嵌布在一起。

铜矿石有两种最主要的结构。其中之一是半自形—他形粒状结构，即除硫砷铜矿呈半自形长板状外，其它金属矿物多呈它形粒状；其二是碎裂结构，即黄铁矿或早世代的铜矿物被水热隐爆而裂解，晚世代金属矿物围绕其交代生长（照片 2）。

浸染状构造、角砾状构造、细（微）脉状构造和块状构造是铜矿石的 4 种主要矿石构造类型。

第二章 蚀变分带

紫金山铜金矿床最显著的特点之一，是矿区岩石普遍遭受强烈的热液蚀变作用。在一个很大的范围内，作为矿区最主要围岩的燕山早期花岗岩和燕山晚期英安玢岩均有明显而强烈的蚀变现象。对矿床围岩蚀变的研究表明，区内出现的蚀变岩石主要是交代岩，它们已成为一套与浅成中低温热液有关的含矿次生石英岩交代建造。其主要矿物成分是石英，常伴有大量绢云母、迪开石和明矾石等。岩石中黄铁矿极为普遍，还见少量重晶石、氯黄晶和蛋白石局部聚集。按矿物组合，本区次生石英岩建造可分为4种主要的交代岩（相），即石英绢云母交代岩、石英迪开石交代岩、石英明矾石交代岩和硅质交代岩。这些蚀变岩石是矿化热液作用的产物，明显受火山机构和断裂构造的双重控制，在矿区时空分布上具有一定的规律。其特点可归纳如下：

1. 矿区蚀变围岩的交代作用方式是以热水溶液与围岩化学组分之间的渗滤交代为主，蚀变岩石基本保持原岩的结构构造，早期蚀变矿物被晚期蚀变矿物交代后仍保留原矿物假象；

2. 各类蚀变岩在空间上基本构成独立的巨厚的单一岩类交代岩（相）带，早期以面型为主，晚期以线型为主，后者常叠加在前者之上；

3. 整个蚀变与矿化的过程是含矿中低温热液的演化过程。

下面我们将从蚀变岩的岩石学、矿物学、矿物组合及其时空分布等方面来加以叙述。

第一节 蚀变岩石地质填图

在讨论蚀变岩石之前，先介绍一下在矿区内进行的蚀变岩石地质填图工作。近年来，国外研究浅成热液型贵金属矿床的许多学者认为，要提高对火山作用形成的热液矿床的勘查效果，就必须对已发现的这类矿床测制详细的地质图，特别是蚀变岩石地质图件，同时对共生矿物和流体包裹体进行详细研究。基于这一点，我们首先在矿区 1:2000 和 1:0000 地质图基础上，通过野外实地观测，在矿区地表自 19 线—0 线—44 线及铜矿沟东北地段，按 100m 线距，结合主要地质体以 10—50m 点距系统地取样；对矿区外围二庙沟一大茨岗—迳美村，石圳—铜矿沟和五龙寺一带进行稀疏路线剖面取样；同时还对 26 个主要钻孔岩心观察取样对 600 多件薄片、光薄片和测温片进行鉴定和测试，然后填制了矿区蚀变岩地质平面图（见图 8）、3 线和 11 线蚀变岩地质剖面图（见图 9、图 10）及地表主要铜矿化期温度等值线图（见图 19）等。由于矿区地势险恶，局部地段为悬崖峭壁，难以采集样品，加之有些钻孔尚未施工完毕，致使这些图件上出现个别小“天窗”，有些地段则以虚线连接作为蚀变地质体的推测界线。

第二节 蚀变岩岩石学及矿物学

一、蚀变岩石的结构构造

本区蚀变岩石主要有以下结构构造：

1. 花岗变晶结构、块状构造：主要见于蚀变花岗岩中。除原生石英和少量磷灰石、锆石等副矿物基本保留外，岩石中的其它原生矿物均被蚀变矿物所取代，形成矿区广泛分布的具花岗变晶结构的蚀变岩石。交代作用往往以显微鳞片状绢云母化开始，表现为长石内分布有大量斑点状、斑状和微细网状绢云母，并以黑云母逐渐消失为特征。在五龙寺沟底和 2701 钻孔深部弱蚀变花岗岩中，均见此类交代结构（照片 27）。随着交代作用加强，长石被彻底交代，微晶绢云母与石英形成矿区热液蚀变初始产物石英绢云母交代岩。在后期热液蚀变演化过程中，石英绢云母交代岩虽然又被晚期蚀变矿物多次交代，形成新的矿物集合体，但原花岗变晶结构及块状构造特征大部分仍保留。这种交代作用很可能与继承原矿物主要化学组分有关。

2. 残留斑状结构、块状或多孔状构造：这是蚀变英安玢岩的主要结构构造。斑晶除石英呈典型的溶蚀港湾状残留外，几乎所有长石和暗色矿物斑晶均被绢云母或迪开石、明矾石等矿物集合体所替代，但仍保留其斑晶假象（照片 28）。原岩基质则被微细粒石英和其它蚀变矿物集合体代替，部分岩石中的基质矿物粒度变粗（0.2—0.5 mm），呈似花岗变晶结构。在矿区中部的蚀变英安玢岩内，有大量浸染状细粒黄铁矿分布，但由于晚期强硅化淋滤作用，黄铁矿多已消失，原斑晶部分形成空洞，变为多孔状构造的硅质交代岩（照片 29）。

3. 碎屑结构、角砾状构造和流动构造：以矿区西北部热液隐爆角砾岩带中最为发育。角砾大小不一，形态和磨圆度各异，总体呈不规则棱角状，表明其搬运的距离不太远。露头上巨大的角砾可达几米以上，一般为 0.1—0.3 m，在显微镜下以 0.5—3 mm 常见（照片 30）角砾成分为蚀变的花岗岩和英安玢岩，系附近围岩的角砾，有时见大量的石英岩屑和晶屑与岩石角砾呈不规则堆集体（照片 31）。胶结物主要由细晶石英与绢云母或迪开石、明矾石等热液矿物组成，与角砾中的蚀变矿物成分基本相同，但与角砾间界线十分清晰，二者交代现象不明显。在某些角砾较少的蚀变角砾岩中，局部还见有流动状构造（照片 32），而这些角砾的磨圆度较好。这些现象表明胶结物显然是由热水溶液沿裂隙或碎裂岩块间隙充填沉淀而成的。

4. 交代假象结构：这种交代结构前面已提及，这里主要描述晚期蚀变叠加在早期蚀变矿物之上的交代假象结构。如在硅化作用强烈的硅质交代岩带中，常可见到大量次生微细粒石英集合体交代明矾石粗板状晶体后，明矾石的板状假象仍保留，其原岩石英明矾石交代岩的结构构造清晰可辨。在 800 中段的岩石薄片上，也可看到晚期硅化微细粒石英集合体呈迪开石假象，同时，交代后的石英晶体表面布满了大量云雾状粘土矿物，其原岩极似石英迪开石交代岩。晚期硅化的英安玢岩也同样保持了原岩的结构构造，斑晶和基质均变成石英集合体。

二、蚀变岩石类型

1. 石英绢云母交代岩：主要分布在矿区深部及矿区外围低标高的广大地带，几乎各

类围岩都遭到不同程度的绢云母化。岩石呈黄绿色，由微细粒石英和微细鳞片状绢云母组成，后者常以集合体呈长石板状晶形出现。在矿区深部弱绢云母化花岗岩中，微细鳞片状绢云母呈斑点状、斑块状或细微网状，稀疏交代长石，岩石的结构和矿物组合特征明显可辨。当交代作用强烈时，绢云母的含量可占蚀变矿物的 70%（体积）以上。根据绢云母的产出方式可将其分为两期：早期以面型分布和矿物粒度细呈致密状集合体为特征；晚期为线型分布，相对较大的片状绢云母与黄铁矿和石英组成细脉，沿蚀变带的岩石裂隙充填交代，宽度一般仅几厘米，脉的周围常产生一定范围的绢云母晕。石英绢云母交代岩往往叠加有迪开石化和明矾石化，后者成团块或网脉状分布在岩石中。当迪开石化和明矾石化更强烈时，绢云母则呈稀疏残留状分布，直至消失。

2. 石英迪开石交代岩：从矿区地表分布上看，迪开石化较绢云母化更广泛，主要发育于西北部和东部一带。迪开石通常呈团块和网状集合体与微细粒石英伴生。在英安玢岩中，迪开石主要呈暗色矿物和长石斑晶假像，在微细粒石英基质内则呈细网状分布。根据镜下观察，迪开石化在矿区所有蚀变岩中均存在。宏观上看，其主体基本上是叠加在石英绢云母蚀变带上，即迪开石晚于绢云母。

3. 石英明矾石交代岩：是矿区重要的含矿蚀变岩之一，与铜矿化关系密切。岩石通常以浅粉色或玫瑰色为特征，明矾石呈细板状与细粒石英相嵌分布。在明矾石富集地段，粗板状的明矾石组成格架，细粒石英或大量黄铁矿填充其间，构成“似辉绿结构”。明矾石的形成明显晚于早期绢云母和迪开石，在剖面上，石英明矾石交代岩呈似层状，分枝明显插入石英，绢云母蚀变岩带与石英迪开石蚀变岩带的过渡部位，镜下常见明矾石呈细脉状和斑点状交代后两者。明矾石也有两期。早期结晶程度较高的呈细板状面型分布；晚期晶形较细，且多为不规则状，呈网脉状线型分布，这些明矾石网脉往往伴随铜矿物的沉淀。

4. 硅质交代岩：指产于矿区中部蚀变英安玢岩之顶部的那套遭到强烈酸性淋滤的硅化岩石，也有人称其为“硅帽”。它是多期硅化作用的产物，系早期细粒透明石英的伴生蚀变矿物再次被显微粒状乳白色石英集合体交代，有时还见有少量更晚期的蛋白石叠加。较有意思的是，不少人曾把那种乳白色石英集合体误认成迪开石，但用小刀刻不动，后经镜下鉴定才发现，原细粒迪开石均被乳白色石英集合体所交代。硅质交代岩的另一特征是，当晚期硅化叠加在孔隙发育的岩石时，石英集合体呈团粒状稀疏分布，团粒间有大量空洞。

5. 其它蚀变：

1) 关于早期硅化作用：大量薄片观察结果表明，早期硅化作用在矿区确实存在，且分布面广。其依据有两条：一是蚀变岩中有相当一部分较细粒热液石英明显早于绢云母、迪开石、明矾石及与其伴生的微细粒石英；二是在蚀变花岗岩中，岩浆期的粗粒石英四周时常分布有明显的硅化环（净边结构），而且在蚀变英安玢岩的石英斑晶周围也存在着这种现象。因此，早期发生的硅化作用很可能与英安玢岩的岩浆期后中高温热液有关。根据测温数据，其形成温度在 300—400℃ 之间。这期硅化在五龙寺沟底的弱蚀变花岗岩中明显缺失。

2) 绿泥石化：在 ZK 306 最深部（909m）的英安玢岩中，见绿泥石彻底交代岩石中的暗色矿物斑晶，且少量微晶绢云母鳞片呈“外环状”再交代绿泥石。同时，绢云母也呈网状交代长石斑晶。因此推测，绢云母化带的深部可能还存在着绿泥石化（青磐石）

化) 蚀变带。

三、蚀变矿物

矿区蚀变矿物比较简单, 主要有绢云母、迪开石、明矾石、石英和少量蛋白石、重晶石、氯黄晶及绿泥石等。现将矿区主要蚀变矿物的特征描述如下。

绢云母 主要发育于矿区深部及外围低标高的广大地带, 矿区西南部和北东部也有分布。按绢云母的产出形式, 可将它分成两期。早期绢云母呈面型广泛分布, 与微细粒石英组成石英绢云母交代岩。肉眼观察该矿物为浅黄绿色的致密隐晶质鳞片集合体, 常具丝绸光泽, 手摸略有滑感。薄片呈无色透明或微显浅黄色, 自形程度差, 往往成密集的半自形至他形鳞片状集合体, 彻底交代原岩中的长石类矿物。由于绢云母细小, 难以辨认, 过去曾把它误认为叶蜡石, 后经作者镜下鉴定及 X射线粉晶衍射确定为绢云母。表 1 列出了绢

表 1 绢云母X射线粉晶衍射数据

Table 1. X-ray powder diffraction data of sericite.

| 2θ | I/I_0 | $d(\times 10^{-10}\text{m})$ | 2θ | I/I_0 | $d(\times 10^{-10}\text{m})$ |
|-----------|---------|------------------------------|-----------|---------|------------------------------|
| 2.02 | 3 | 43.7266 | 38.26 | 2 | 2.3507 |
| 2.98 | 2 | 29.6787 | 39.52 | 3 | 2.2785 |
| 3.74 | 1 | 23.6177 | 40.08 | 4 | 2.2480 |
| 8.88 | 19 | 9.9536 | 40.86 | 4 | 2.2069 |
| 17.82 | 15 | 4.9750 | 42.08 | 12 | 2.1457 |
| 19.82 | 16 | 4.4772 | 42.42 | 13 | 2.1293 |
| 20.91 | 8 | 4.2395 | 43.34 | 1 | 2.0861 |
| 21.76 | 2 | 4.0817 | 45.48 | 43 | 1.9930 |
| 22.92 | 2 | 3.8775 | 46.62 | 6 | 1.9469 |
| 23.92 | 4 | 3.1777 | 46.82 | 2 | 1.9390 |
| 24.10 | 12 | 3.6454 | 48.06 | 1 | 1.8918 |
| 25.16 | 5 | 3.4963 | 50.14 | 8 | 1.8181 |
| 26.72 | 100 | 3.3337 | 52.30 | 1 | 1.7480 |
| 27.94 | 5 | 3.1912 | 53.88 | 3 | 1.7004 |
| 28.62 | 1 | 3.1168 | 54.92 | 11 | 1.6706 |
| 29.16 | 17 | 3.0604 | 55.16 | 16 | 1.6639 |
| 29.92 | 8 | 2.9845 | 55.88 | 14 | 1.6441 |
| 31.32 | 5 | 2.8543 | 56.30 | 12 | 1.6329 |
| 32.16 | 3 | 2.7816 | 56.94 | 2 | 1.6160 |
| 33.48 | 5 | 2.6747 | 59.96 | 8 | 1.5416 |
| 34.64 | 15 | 2.5879 | 61.78 | 23 | 1.5005 |
| 35.04 | 33 | 2.5590 | 64.04 | 2 | 1.4529 |
| 36.05 | 8 | 2.4928 | | | |
| 36.62 | 10 | 2.4523 | | | |
| 37.64 | 10 | 2.3880 | | | |

分析者: 地矿部矿床地质研究所潘家华

云母的 X射线粉晶衍射分析数据, 主要谱线为 9.954(19)、3.334(100)、2.559(33), 属 $2M_1$ 型。单矿物化学分析结果(表 2)表明, 其铁的含量较低, 略含些挥发组分氟。根据这类绢云母的产出形式及其常被迪开石和明矾石所交代等特征, 应为矿区水热蚀变作用的初始产物。

表 2 绢云母的化学成分 (wt%)

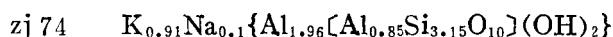
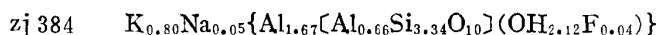
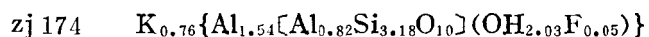
Table 2. Chemical composition of sericite (wt %).

| 样品编号 | zj174 | zj382 | zj74 |
|--------------------------------|--------------|-----------------|----------|
| 产地 | ZK407 (501m) | ZK2701 (189.7m) | 五龙寺沟底铜矿脉 |
| SiO ₂ | 50.91 | 50.48 | 47.28 |
| TiO ₂ | 0.05 | 0.10 | 0.06 |
| Al ₂ O ₃ | 29.30 | 29.77 | 35.30 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.81 | 1.47 | |
| FeO | 0.74 | 1.43 | 0.94 |
| MnO | 0.07 | 0.04 | 0.04 |
| MgO | 1.41 | 0.90 | 0.12 |
| CaO | 0.05 | 0.13 | 0.04 |
| Na ₂ O | 0.005 | 0.037 | 0.04 |
| K ₂ O | 9.54 | 9.51 | 10.69 |
| H ₂ O ⁺ | 4.87 | 4.81 | |
| H ₂ O ⁻ | 0.89 | 1.03 | |
| F | 0.26 | 0.19 | |
| 合计 | 99.91 | 99.90 | 94.51 |
| - O = F ₂ | - 0.11 | - 0.08 | |
| 总计 | 99.80 | 99.82 | 94.51 |

注：样品 zj174 和 zj382 为单矿物化学分析结果（地质矿产部岩矿测试技术研究所谢秀英分析；zj74 为电子探针分析结果（地质矿产部矿床地质研究所杨明明测定）。

晚期绢云母主要呈线型脉状分布，通常与石英和硫化物组成蚀变矿脉产出。这些绢云母呈细小鳞片状，具珍珠光泽，肉眼极易辨认。镜下，绢云母呈细鳞片星散状分布，也有的呈细网脉状充填交代其它蚀变矿物。表 2 中 zj 74 样品为晚期绢云母电子探针分析数据，与早期绢云母对比，以 Al₂O₃ 略高为特征。

经计算，表 2 中绢云母的结晶化学式分别为：



迪开石 常见于矿区上部及地表，深部局部地段也有少量分布。迪开石外观呈黄白—白色微细粒厚片状集合体，有时风化面受铁染呈浅褐色。镜下，迪开石无色，部分团块集合体略带淡黄色，以微细粒片状集合体常见，有时也能见到粗晶片状的单晶。粗晶（610）面上的消光角（ α/N_m ）为 15°—19°。由于矿区迪开石晶体极为细小，是否还有其它粘土类矿物存在，镜下难以鉴别。为此，对这类矿物也做了 X 光粉晶衍射鉴定（其结果表 3）表明，除了石英和迪开石外，没有别的矿物谱线出现。迪开石的主要谱线为 3.57、2.32、1.649 迪开石的形成至少有两期。早期迪开石呈面型微细粒集合体，与石英组成石英迪开石交代岩，分布范围大，独立形成一个巨厚的蚀变带，其主体覆盖在石英绢云母蚀变带上，明显晚于绢云母化。晚期迪开石主要以网脉状沿裂隙充填交代，其形成延续时间较长，影响范围也大，几乎所有蚀变岩石都有分布。表 4 中 zj 22 和 zj 34 样品为呈面型分布的早期迪开石，zj 67 样品为晚期迪开石脉，这两类的成分几乎相同。三者的结晶化学式分别为：