

分类号

密级

201

中国地质大学（北京）

# 硕士学位论文

## 河北丰宁大西沟金矿金的赋存状态 及矿床成因分析

学 号： 2001100341

研 究 生： 于雯雯

专 业： 矿产普查与勘探

研 究 方 向： 固体矿产勘查与评价

指 导 教 师： 王建国 教授

2013 年 5 月



## 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国地质大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签 名： 于雪莹 日 期： 2013-6-3

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解中国地质大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

签 名： 于雪莹 导师签名： 王建国 日 期： 2013-6-3

分类号

密级

中国地质大学（北京）

# 硕士学位论文

## 河北丰宁大西沟金矿金的赋存状态 及矿床成因分析

学 号： 2001100341

研 究 生： 于雯雯

专 业： 矿产普查与勘探

研 究 方 向： 固体矿产勘查与评价

指 导 教 师： 王建国 教授

2013 年 5 月

**A Dissertation Submitted to  
China University of Geosciences for Master Degree**

**Research on Gold Occurrence status and Genesis of  
Fengning-Daxigou Gold Deposit in Hebei**

**Master Candidate: Yu Wenwen**

**Major: Mineral Resources  
Exploration**

**Study Orientation: Solid mineral resources  
exploration and evaluation**

**Dissertation Supervisor: Prof. Wang Jianguo**

**China University of Geosciences (Beijing )**

## 摘 要

大西沟金矿位于华北板块北缘冀北-辽西成矿带，是冀北地区近年来新发现的重要金矿床之一。

本论文以大西沟金矿为研究对象，通过岩相分析、电子探针等技术的分析，研究了该金矿床中金的赋存状态及金矿物与载金矿物的关系。研究表明，大西沟金矿矿石类型有蚀变岩型和石英脉型两种，载金矿物主要为黄铁矿和石英。矿石中金主要以自然金和银金矿的形式存在。以包裹金、晶隙金、裂隙金为主要赋存形式，金矿物颗粒以小于  $10\mu\text{m}$  的细粒矿物为主，形态以他形粒状、枝状、片状为主，金矿物的成色变化范围较大，为 639~880，平均 809。

同时，运用流体包裹体岩相学，流体包裹体测温等常规实验方法，对大西沟金矿不同成矿阶段的石英包裹体进行研究。研究表明，该矿床中石英主要以气液两相包裹体为主，气液比大多集中在 10%~30% 之间，形态以似圆形、椭圆形和不规则状为主，大小多在  $4\sim 8\mu\text{m}$  之间。大西沟金矿的主成矿阶段的温度主要分布范围为 190~310℃；主要成矿阶段成矿压力集中在 11.3~31.2MPa 之间，平均为 23.83MPa；深度在 0.37~1.49km 范围内，平均为 0.79km。

通过对石英中氢氧同位素的分析可知，大西沟金矿矿石中石英的  $\delta^{18}\text{O}$  值变化范围在 13.6~14.7‰，平均值为 14.45‰。石英包裹体内  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  范围在 4.1~10.0‰，平均为 6.02‰。数据表明在成矿作用的初期，岩浆水为大西沟金矿的主要成矿流体，当成矿作用进行到后期时，大气降水逐渐加入到成矿热液之中，导致了大西沟金矿的成矿流体具有了混合来源的特点。

该矿区成矿流体具有中低温、低盐度、低密度的特征，属于浅成成矿环境。矿床成因属于中低温浅成热液矿床。

**关键词：**赋存状态，流体包裹体，成矿流体，矿床成因

## Abstract

Daxigou gold mine locates in the Jibei-Liaoxi metallogenic belt, it is one of the newly find important gold mines in Jibei areas recent years.

This essay researches the Daxigou gold mine, using petrographic and electron probe analysis, aiming to learn about the occurrence state in this gold mine and correlation between gold mineral and gold-carrying mineral. Research implies that ore type in Daxigou gold mine mainly consist of altered rocks type and quartz vein type as well as the gold-carrying minerals are most of pyrite and quartz. Gold is occurring as gold minerals, including native gold and electrum, meanwhile, mainly occurring as wrapped gold, intercrystalline gold and fissure gold. Au-mineral particles are mostly less than 10  $\mu\text{m}$ , and are of xenomorphic granular, dendritic and schistose. The range of color change of gold mineral is wide, from 639 to 880, 809 in average.

In the meantime, we use fluid-inclusion petrography and thermometry to analysis the quartz inclusions from Daxigou gold mine. Research implies that quartz are mostly of gas-liquid two-phase inclusions, the ratio of gas and liquid mainly between 10% to 30%. Quartz are sub-circular, ellipse and irregular and the size are of 4 to 8  $\mu\text{m}$ . Calculating by the parameter of inclusions, the temperature of main stage of mineralization of Daxigou gold mine is between 190 to 310  $^{\circ}\text{C}$  and the pressure of that ranges from 11.3 to 31.2 MPa, 23.83 Mpa in average as well as the depth is 0.37 to 1.49 km, 0.79 km in average.

According to the hydrogen and oxygen isotopes of the quartz, the value of  $\delta^{18}\text{O}$  in quartz from Daxigou gold mine varies between 13.6 to 14.7‰, the mean value is 14.45‰. The  $\delta^{18}\text{OH}_2\text{O}$  of quartz inclusions is from 4.1 to 10.0‰, 6.02 in average, which suggests that Daxigou gold mine has the feature of mixing origin. In the earlier stage of mineralization, the ore-forming fluid is mainly of magmatic water, while has more atmospheric precipitation added in the later stage.

The ore-forming fluid in Daxigou gold mine is characterized by medium and low temperature, low salinity and low density, belongs to shallow-seated

environment. The Daxigou gold mine is of an epithermal deposit.

**Key words** occurrence state ore-forming fluid fluid inclusion ore genesis

# 目 录

摘 要 .....	I
ABSTRACT .....	II
1 绪论 .....	1
1.1 研究区地理位置及研究现状 .....	1
1.2 选题依据及意义 .....	2
1.3 金的赋存状态研究现状 .....	2
1.4 本次研究工作情况 .....	4
1.4.1 研究方法 .....	4
1.4.2 研究进度安排 .....	4
1.4.3 完成工作量 .....	5
2 区域地质 .....	6
2.1 区域地层 .....	6
2.2 区域岩浆岩 .....	8
2.3 区域构造 .....	9
3 矿区地质及矿床地质特征 .....	11
3.1 矿区地层 .....	11
3.2 矿区岩浆岩 .....	11
3.3 矿区构造 .....	12
3.4 矿床地质特征 .....	15
3.4.1 矿体地质特征 .....	15
3.4.2 矿石物质组成及特征 .....	17
3.4.3 矿石类型 .....	19
3.4.5 矿石结构 .....	20
3.5 矿物生成顺序及成矿阶段划分 .....	22
3.6 围岩蚀变 .....	23
4 金的赋存状态研究 .....	25
4.1 金的赋存形式 .....	25
4.2 金矿物种类与成色 .....	26
4.2.1 影响金矿物的因素 .....	28
4.3 金矿物特征 .....	30
4.3.1 金矿物的粒度 .....	30
4.3.2 金矿物的形态 .....	31
4.3.3 金矿物的嵌布特征 .....	32
4.4 主要载金矿物黄铁矿的特征 .....	34
4.4.1 黄铁矿不同世代特征 .....	34
4.4.2 黄铁矿的化学成分 .....	35
4.5 本章小结 .....	36
5 流体包裹体研究 .....	37



5.1 流体包裹体的岩相学特征 .....	38
5.1.1 寄主矿物 .....	38
5.1.2 包裹体大小、形状和颜色 .....	38
5.1.3 包裹体的丰度和分布 .....	38
5.1.4 包裹体的相态组成、分类 .....	39
5.1.5 包裹体成因分类 .....	40
5.2 流体包裹体测温学 .....	41
5.2.1 测试条件 .....	41
5.2.2 均一法测温 .....	41
5.2.3 盐度 .....	43
5.2.4 密度 .....	44
5.2.5 成矿压力与深度 .....	45
6 同位素地球化学 .....	46
6.1 氢氧同位素学 .....	46
6.1.1 实验过程和计算方法 .....	46
6.1.2 氢氧同位素特征及其意义 .....	46
7 矿床成因探讨 .....	49
7.1 成矿条件 .....	49
7.1.1 成矿流体的性质 .....	49
7.2 成矿流体来源 .....	49
7.3 成矿时间 .....	50
7.4 成矿模式 .....	50
8 结论 .....	52
致 谢 .....	53
参考文献 .....	54
附录 .....	57

# 1 绪论

## 1.1 研究区地理位置及研究现状

大西沟金矿位于我国华北地台北缘金银多金属矿集中区内，是近些年来华北地区新发现的一处大型金矿床。该矿区地处河北省北部，隶属于河北省承德市丰宁满族自治县土城子镇管辖，现系山东招金集团的下属矿区，该矿区的地理坐标约为东经  $116^{\circ}25'57''$ — $116^{\circ}27'54''$ ，北纬  $41^{\circ}31'00''$ — $41^{\circ}31'58''$ 。(见图 1-1)大西沟金矿的北部有通往丰宁县城的公路，交通十分方便。

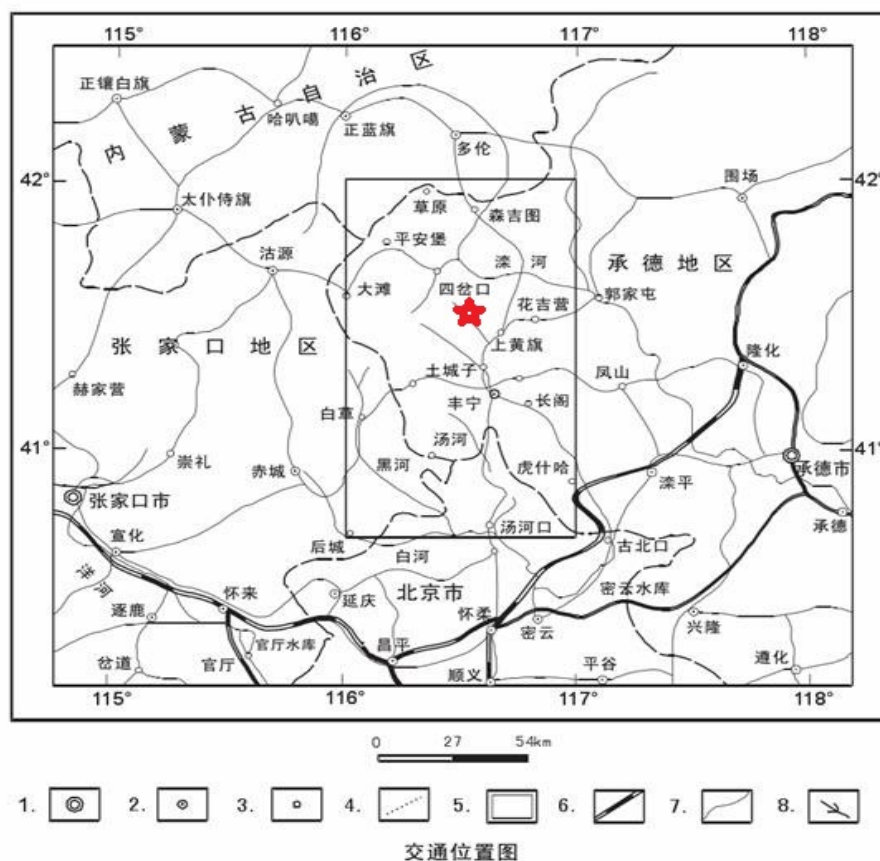


图 1-1 河北丰宁大西沟金矿交通位置图

该矿区以往工作情况如下：

该地区的区域调查工作开始于上个世纪 70 年代，勘查程度并不高。1973

年至 1992 年,近 20 年期间河北省区域调查第二大队曾先后对上黄旗、太阳店等地区的地层、构造、岩浆岩等进行了不同程度、不同比例尺的地质调查,并陆续提交了 1:20 万的上黄旗幅、1:5 万上黄旗福和 1:5 万的太阳店幅的区域地质调查报告。大西沟金矿的普查与初步评价工作开始于 2000 年,由中国武警黄金部队一支队历时三年完成。之后河北省地矿局第四地质队在 2003 年开始对河北大西沟金矿进行金矿的地质普查和详查的工作,并在 04 年和 09 年分别编写提交了阶段性地质工作总结报告和《河北省丰宁县土城子镇大西沟金矿详查地质报告》。

## 1.2 选题依据及意义

大西沟金矿位于华北板块北缘冀北-辽西成矿带,是该成矿带近年发现的成矿条件很具有意义的代表矿床。但相对与成矿带内其他矿床,如牛圈银(金)矿、窄岭金矿及大营子一带的金矿等,大西沟金矿的研究程度较低。通过近些年的工作,我们已掌握该矿区的基础地质资料。

本次选题的主要目的在于综合前人对大西沟金矿的地质成果资料,通过对该地区开展目的明确的详细的地质研究工作,利用最新的微束分析技术对大西沟金矿的金的赋存状态进行深入分析,阐明该矿床金的赋存特点,能够对金的选冶工艺改进、选冶回收率等问题加以指导,使金矿物最大程度的被开发利用。对该矿床流体包裹体的研究是大西沟金矿矿床成因研究的重要内容,掌握了矿床的成因和成矿模式能够为区域矿床的研究以及下一步的找矿工作都提供相应的依据。

## 1.3 金的赋存状态研究现状

金的赋存状态是当今金矿床研究的一个重要领域,不论是矿床学家还是矿物学家对于金的赋存状态问题都给予了高度重视。由于金矿物颗粒极其细小,一般为显微金和超显微金,而金在矿石中含量又甚微,因此借助于传统的光学显微镜及其他常规方法进行赋存状态的研究尚存在相当大的困难,必须借助于新技术新方法。

金的赋存状态研究方法在 80 年代主要采用:①用人工重砂分离富集重矿物

以寻找可见金；②在高倍显微镜对光片等详细观察；③用溶矿方法找自然金；④电子探针分析法<sup>[3]</sup>。而在现阶段关于微细粒金的赋存状态的研究最常用几种微束分析技术的性能及特点见表 1-1。

表 1-1 几种主要微束分析技术方法性能及特点

微束技术 性能及特点	电子探针	离子探针	质子探针	同步辐射射线
微束 束斑 ( $\mu\text{m}$ )	电子 $\leq 1$	离子 $\leq 1$	质子 $0.5\sim 1$	X 射线 $3\sim 10$
能量	$10\sim 50\text{KeV}$	$10\sim 50\text{KeV}$	$2\sim 8\text{ KeV}$	$\geq 3\text{ KeV}$
分 析 宽度 $\mu\text{m}$	1.5	10	2	5
体 深度 $\mu\text{m}$	2	200	30	30
积				
检 浓度 ppm	50	0.5	1	0.5
测 质量 ng	600	600	600	150
限				
分析元素范围	Na--U	所有元素和同位素	Na—U.H.BLi,N, O,F	Na--U
对样品的损伤	无	有	无	无
分析内容及结 果表达方式	定量分析、光 学图像、电子 图像、元素分 布	定量分析、光学图 像、元素分布	定量分析、光学 图像、电子图 像、元素分布	定量分析、光学图 像、电子图像、元 素分布

(据王毅民等 (1991)、S. J. B. Reed (1990)、S. L. Chrysosoulis (1989) 及王奎仁等资料综合)

近年来，利用微束分析技术已在卡林型金矿床及部分其他类型金矿床中发现了次显微金。王奎仁等在国内首次运用扫描质子探针研究微细粒金的赋存状态。而作为金矿物的另一种重要存在形式——晶格金的存在也得到了越来越多学者的认同。姚敬勋 (1978) 做了晶格金的萃取实验，并以此实验证明晶格金的存在<sup>[11]</sup>。张振儒 (1983) 在国内首次采用了顺磁共振谱谱研究了湘西金矿黄铁矿中的晶格金，其结果与苏联学者的相类似<sup>[9][10]</sup>。贾建业等 (1996) 对小秦岭金矿进行赋存状态研究，通过电子显微镜及 Au MAX 射线的面分析，首次证明了小秦岭金矿中晶格金的存在，并对晶格金的形成机制进行了深入分析<sup>[8]</sup>。有

此可见，随着现代微束分析技术的发展，对显微金和超显微金的精确研究已经得以实现。

## 1.4 本次研究工作情况

### 1.4.1 研究方法

本次研究是在野外观察的基础之上，在室内进行相关研究，两者相互结合。金的赋存及流体包裹体的具体研究方法分别为：

#### 1. 金的赋存状态研究方法：

（1）将采集到的不同矿区及不同矿体的矿石样品磨制成光片或光薄片，利用光学显微镜观察研究矿石的矿物组成，对金矿物的粒度大小、形态特征及金矿物与载金矿物的嵌布关系等进行详细记录；

（2）利用电子探针对载金矿物及金矿物进行元素分析，更准确的查明载金矿物和金矿物的元素组成及含量。

#### 2. 流体包裹体研究方法：

（1）利用显微镜观察流体包裹体的大小、形状、颜色、填充度等微观特征，并根据这些特征划分其类型；

（2）利用显微冷热台，进行包裹体测温实验，得到包裹体的完全均一温度、冰点温度等；

（3）根据计算公式，可通过冰点温度计算出流体的盐度；流体的密度和压力则是根据相应的计算公式，通过盐度和均一温度最终得到的；

（4）关于成矿深度是根据以上得到的密度、压力，依照静岩压力梯度最后推算得到的。

### 1.4.2 研究进度安排

本次硕士论文工作开始于 2011 年 6 月，止于 2013 年 4 月。具体计划如下：

第一阶段：室内查阅相关文献资料，充分了解研究区的地质概况，确保野外工作顺利进行（2011.6-2012.4）；

第二阶段：进行野外调研，收集矿区资料，采集样品，对研究区的实际地质情况进行深入了解（2012.5-2012.6）；



第三阶段：整理野外资料，进一步收集查阅资料，编写文献综述，并作样品试验的准备工作（2012.6-2012.7）；

第四阶段：进行相关样品测试分析，主要包括光片、包裹体片的观察，电子探针测试机包裹体测温（2012.8-2012.11）；

第五阶段：数据分析、论文所需图件绘制工作，撰写论文初稿（2012.12.2013.2）；

第六阶段：论文修改，完成终稿，进行答辩（2013.3-2012.5）。

### 1.4.3 完成工作量

2012年5月份，研究小组在大西沟金矿进行了1个月的野外研究，对本矿区地表及其井下的基本地质情况进行了大体了解，共采集样品144件，研究工作具体工作量见表1-2。

表 1-2 工作量统计表

序号	工作项目	计量单位	工作量
1	野外定点	个	673
2	采集样品	件	144
3	素描图	幅	15
4	照片	张	176
5	薄片	片	73
6	光片	片	132
7	包裹体测温片	片	9
8	电子探针测试	点	30
9	氢氧同位素	件	4

## 2 区域地质

大西沟金矿地处于华北地台的内蒙地轴东段北缘围场拱断束(Ⅲ级),上黄旗岩浆岩亚带(Ⅳ级)(图 2-1)。这一地区在很长一段时期内的地质发展都受到北东向的上黄旗—乌龙沟深断裂的影响。沿此断裂带分布有一条燕山时期形成的北北东向的构造-岩浆岩带,它的形成与燕山时期上黄旗-乌龙沟断裂带上强烈的岩浆侵入活动以及连续不断的火山喷发作用有着直接而密切的关系。海西晚期至燕山中晚期这一期间区域内的四岔口盆地边缘分布的断裂发生了强烈的岩浆侵入活动,区域内各类型的金银矿体的空间分布规律正是受此控制。大西沟金矿处于该盆地的西北部,属于此时期形成的北北东向成矿带上的一部分。

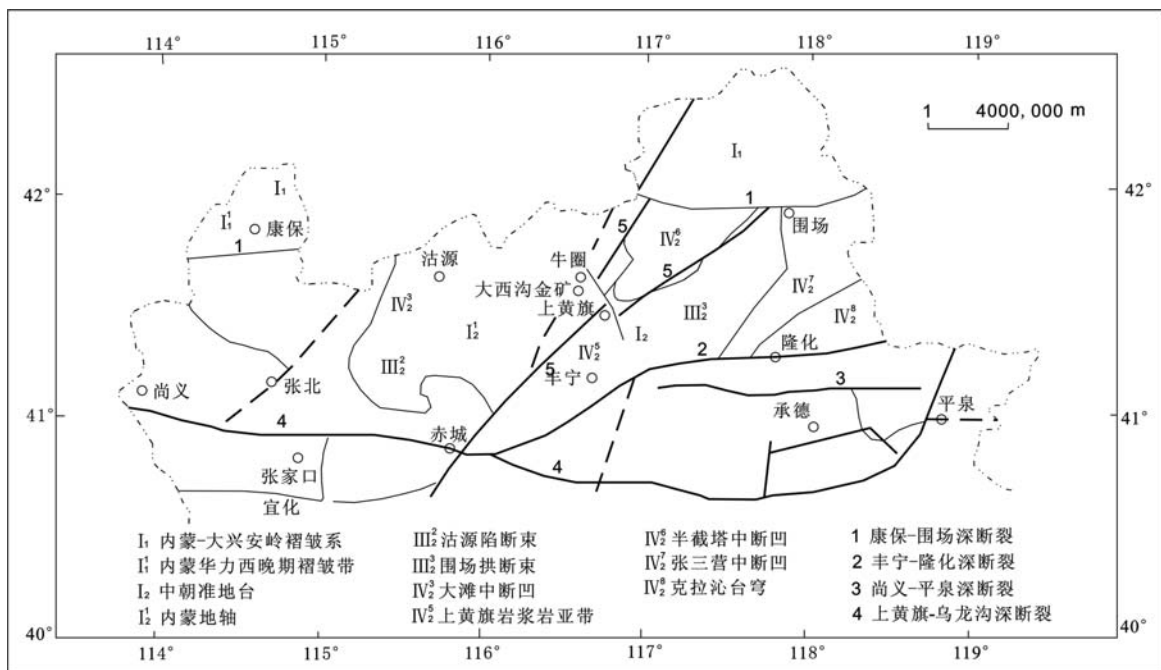


图 2-1 冀北地区构造单元划分图(资料来源 1990 年 河北省 514 地质大队)

### 2.1 区域地层

#### 1、古元古界红旗营子群

红旗营子群是一套低角闪岩相变质岩系,在区域内出露不多,主要分布于

内蒙地轴，即图 2-1 中的尚义—平泉深大断裂以北、康保—赤峰深大断裂以南的范围之内。过去曾有人将这套变质岩系划分到太古界单塔子群，而现在则一直将其归属为元古界的红旗营子群，其标准剖面在崇礼县以北。

红旗营子群是由大同营组和庙子沟组构成。大同营组岩位于下部，庙子沟组位于大同营组的上部。上侏罗统张家口组是这两组地层的盖层，岩性主要为英安岩、流纹岩及凝灰质砾岩等。

## 2、中生界

中生界是一套较为复杂的陆相火山—沉积岩系地层，主要分布于该区域内北东向展布的火山断陷盆地之内。这套地层中最为发育的为侏罗统和下白垩统，且它与下部的太古界变质岩呈不整合分布，约占出露面积的三分之一。

根据岩石组合、接触关系等，本区中生界可分为晚侏罗世东岭台群和早白垩世滦平群，下又分为七个组，现简述如下表：

表 2-1 中生界各组岩性特征

时 代	岩 性 描 述
早白垩世 滦平组	青 石 砬 组 (K1g) 上：灰白，黄褐色砾岩夹砂岩，碳质页岩和薄层煤 下：灰色粘土岩夹煤层。69-505m
	南店组 (K1m) 上：杂色砾岩，砂砾岩夹页岩。 下：砂砾岩，粉砂岩及页岩。127.9m
	花 吉 营 组 (K1h) 上：安山岩夹粗安质凝灰角砾岩，203m。 中：安山岩，粗安质角砾岩，页岩夹油页岩及凝灰质砂岩；233m。 下：辉石安山岩，安山岩，93-611m
	西 瓜 园 组 (K1x) 上：砂页岩及火山碎屑岩，93-537m 中下：页岩夹粉砂岩及凝灰质砾岩，4m
	大 北 沟 组 (K1d) 上：安山岩，辉石安山岩，246-456m 下：凝灰质砾岩夹粉砂岩，0-27m
晚 侏 罗世(东 岭 台 群)	张 家 口 组 (J <sub>3</sub> z) 上：流纹质晶屑凝灰岩夹流纹岩，870m 中：石英斑岩流纹岩及粗面岩，501-1017m 下：凝灰质砾岩夹多层流纹晶屑凝灰岩 98-149m
	白 旗 组 (J <sub>3</sub> b) 上：安山岩，局部安山质角砾岩，英安质集块岩，60-244m 下：流纹质凝灰岩，184m；砾岩，厚约 5m
元古代	红旗营子群 黑云斜长片麻岩、石榴石黑云斜长片麻岩、角闪斜长变粒岩和混合岩化片麻岩

## 2.2 区域岩浆岩

该区域内的岩浆活动主要可分为海西期和燕山期两个旋回，表现出了明显的多旋回性，而其中又以燕山期旋回的亚碱性岩浆岩分布最为广泛的。强烈的岩浆活动也导致这一区域的岩浆岩类型更为复杂，其出露面积约占全区的百分之六十。

海西期岩浆旋回：本期侵入岩包括三个岩石套系，其中以花岗质岩石为主，该系列包括花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩，并且主要以花岗岩为主。主要分布于矿区的南东部和北部，一般呈岩株、岩基产出。另外该旋回还包括一系列基性-超基性岩和一套碱性二长杂岩。

燕山期岩浆旋回：燕山时期本区域的构造活动异常强烈，这也致使这一时期的岩浆活动随之具有了频繁剧烈以及活动形式变化多样的特点。同一岩浆源在这一时期的不同阶段都有着的不同的表现形式，如从多期次的火山喷发到浅火山的侵入直到中深成侵入活动。这些不同阶段、不同形式的岩浆活动在时间、空间上有着密切的相互关系。通常人们把燕山期旋回的岩浆活动划分为四个主要阶段，他们的特点如下：

表 2-2 燕山期旋回各阶段特点

活动阶段	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第三阶段
活动时期	早侏罗世侵入岩	中侏罗世侵入岩	晚侏罗世侵入岩	早白垩世侵入岩
主要岩性	以花岗岩为主，次为石英闪长岩类	岩性以花岗岩、花岗闪长岩、石英二长闪长岩为主、次为闪长岩类	侵入次序大体是石英正长斑岩、石英二长斑岩、石英斑岩，而后是闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、细粒花岗岩等	主要有闪长玢岩、花岗斑岩、石英斑岩及石英正长斑岩等
侵入体特征	产状以中深成小、岩体为主，个别为岩基，呈东西向展布	形成金、银等多金属矿床的主要母岩	主要分布在燕山台褶带内凹陷区，是形成 Mo、Cu、Pb、Zn、Ag 及 Au 等矿床主要母岩	以小型岩体为主

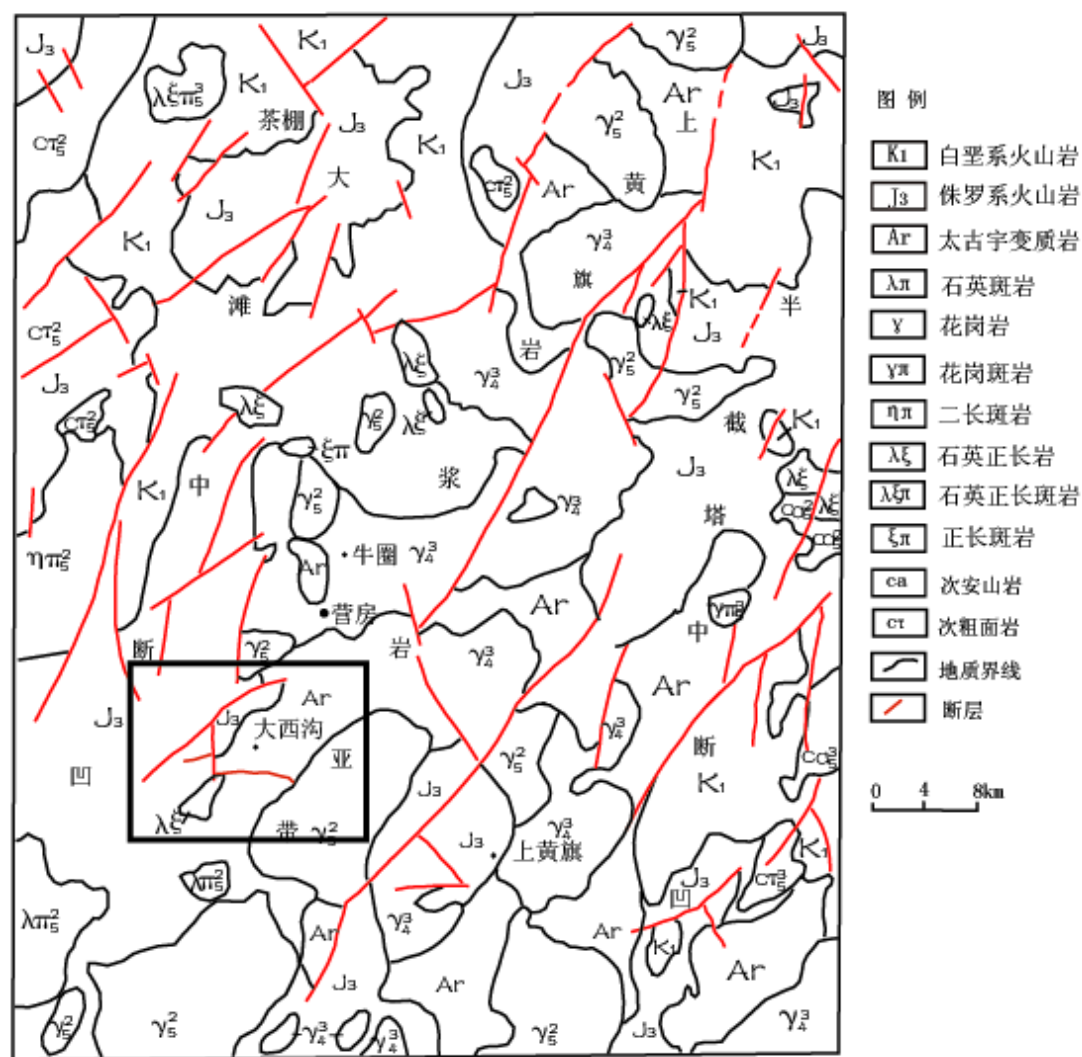


图 2-2 大西沟地区构造地质简图

## 2.3 区域构造

区域内断裂发育，主要的深大断裂有三条，分别为东西向的康保—围场深大断裂、北北东向的上黄旗—乌龙沟深大断裂、北东向的丰宁—隆化隐伏大断裂，在这三条断裂附近还发育有丰富的次级断裂或小型断层。其中北北东向的上黄旗—乌龙沟构造带在很长的一段时间内影响着这一地区的地质发展，因此也成为与大西沟金矿成矿的关系最密切一条断裂带。在岩浆构造运动最强烈的时期区域内的这些深大断裂带成为了大西沟金矿、牛圈银(金)矿等矿床的成矿流体以及岩浆热液的主要运输通道，同时这些大型断裂带甚至包括相关的一些次级小型断层或者破碎带也成为了该划分地区构造—地层单元的原始界线。



康保—围场构造带:这条宽度在数百米至几公里的构造带是华北板块和西伯利亚板块碰撞之后的边界线,在两板块碰撞的晚期,由于北东向和北北东向的剪切错断作用导致其最终的形成。构造带大致沿北纬  $42^{\circ}$ 在东西向向展布,构造线南北两侧的大地构造发展长期受其控制。构造带在该区域内主要是由深部韧性剪切带和位于其上部的逆冲断层组成,构造带内的糜棱岩十分发育。

乌龙沟—上黄旗构造带:构造带在该地区呈  $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 方向展布,长度达到了四百公里,最宽处可致 2 公里。在赤城以北向北东的方向上该构造带发生了一定的偏转,这是由于受到了东西向的断裂的干扰所造成的。冀北地区的东西部构造组合有着巨大的差异,而造成这种差异的正是这条贯穿于冀北全区的乌龙沟—上黄旗构造带,因此这条构造带也被认为是成为冀北地区东西部的天然分界线。构造带在赤城南北两侧显示出了完全不同的地壳结构特征。在南侧此构造带继承性活动明显,地表出露的形迹亦连续稳定、规模也相对较大;而在赤城北侧构造带由于被东西向的断层错断,致使构造出现间断、地表行迹散漫的现象,同时也使构造带在上黄旗以北的地区出现了多个分支

## 3 矿区地质及矿床地质特征

### 3.1 矿区地层

大西沟矿区出露地层主要有上侏罗系白旗组和张家口组及第四系全新统，寒武系至三叠系地层缺失。

(一)、白旗组 ( $J_3b$ ): 由下而上共分两部，下部以凝灰质含砾粉砂岩、流纹质粗面凝灰岩、砂岩为主，上部为绿色斑状安山岩、粗安岩。

(二)、张家口组 ( $J_3z$ ): 这个组共分为三个部分，其中位于下部的主要岩性为流纹质凝灰岩，部分岩石中有夹杂有少量的流纹岩，岩石整体呈红紫色；位于最上部的一层的岩性主要为流纹质的熔岩凝灰岩，岩石中也夹杂有流纹岩、凝灰质的粉砂岩以及松脂岩，但含量并不多；位于这两层中间的是流纹岩、斑流岩、粗安岩、流纹质角砾熔岩及凝灰岩等，颜色与上部岩层相近，这一部分岩石整体呈现出粉紫色。

(三)、第四系全新统 ( $Q_4$ ): 主要由坡洪积物、冲积物和冲洪积物组成。

第四系岩性以砾石、粉细砂、黑色粘土为主，主要分布在山间谷地。厚度 0.5~6 米，最大厚度为 11 米。

### 3.2 矿区岩浆岩

矿区内出露的岩浆岩有：古元古代斑状二长花岗岩、燕山白垩纪花岗岩及石英正长斑岩、燕山期中晚侏罗世次粗安岩。

(1) 元古代斑状花岗岩( $\pi \eta \gamma_2^1$ ): 矿区出露的主要是粗粒和中粗粒两种类型的元古代斑状花岗岩，斑晶以粒度不等的肉红色钾长石为主。除钾长石外斑状花岗岩的其他主要矿物还有石英、条纹长石、微斜长石及暗色矿物黑云母等。

(2)、燕山晚期花岗岩( $r_5^2$ ): 形成于燕山晚期，在区域上分布面积并不大，整体不到 1 平方公里，呈岩株状产出，侵入到张家口组地层以及元古界混合花岗岩中。岩性为钾长花岗岩，岩石呈浅肉红色，中粗粒花岗结构，主要矿物有钾长石、石英、黑云母及少量角闪石等，副矿物为磁铁矿、磷灰石、榍石等，属于铝过饱和系列岩石。这一期的花岗岩与大西沟金矿的形成有着密切的关系，

是该矿床的主要矿源岩体。

(3) 燕山期白垩纪石英正长斑岩 ( $\xi o \pi_5^3$ ): 主要呈岩株状产出, 侵入侏罗系张家口组及中侏罗世次流纹岩体内, 斑晶主要为钾长石, 少量黑云母, 基质为细晶结构。

(4)、燕山期次粗安岩 ( $c \tau a_5^{2(3)}$ ): 较为发育, 多为小型岩株产出, 受区域构造控制呈带状产出, 侵入侏罗系张家口组并被晚侏罗世石英正斑岩侵入, 被白垩系花吉营组角度不整合覆盖。

(5)、脉岩: 矿区内脉岩主要为中性安山岩和安山玢岩, 踏勘过程中金山五号矿区这两种岩脉最为常见。岩脉规模都相对较小, 最长的不超过 300 米。集中分布在矿区的东南部和东部。走向总体呈北西向。脉体局部有绿泥石化、高岭土化。

### 3.3 矿区构造

矿区内构造发育, 尤其以断裂构造最为明显, 而与大西沟金矿成矿作用密切相关的断裂带主要有北东向、北西向和近南北向等三组较具规模的断裂带, 主要由十多条大小不一的断裂组成。从图 3-1 中可以看出大西沟金矿区内共有 F1、F2、F3、F4 等四条主要断裂。从四条断裂的切割关系可判断出构造形成的先后顺序: 由于 F2、F3 被 F4 切割, 故 F4 的形成时间晚于 F2、F3, 后 F4 又被 F1 切割, 故 F1 的形成时间是四条断裂中最晚的。从断裂和周围岩体、切割关系来分析, 可以得出: 东西向的 F2、F3 断裂属于同一断裂, F3 切割了侏罗系张家口组火山岩  $J_3$ , 故 F2、F3 的形成时间应在其形成之后; 而 F1 切割 F4 的同时切割了花岗岩体, 推断 F1 应该是在花岗岩发生侵入的时间之后才形成的。

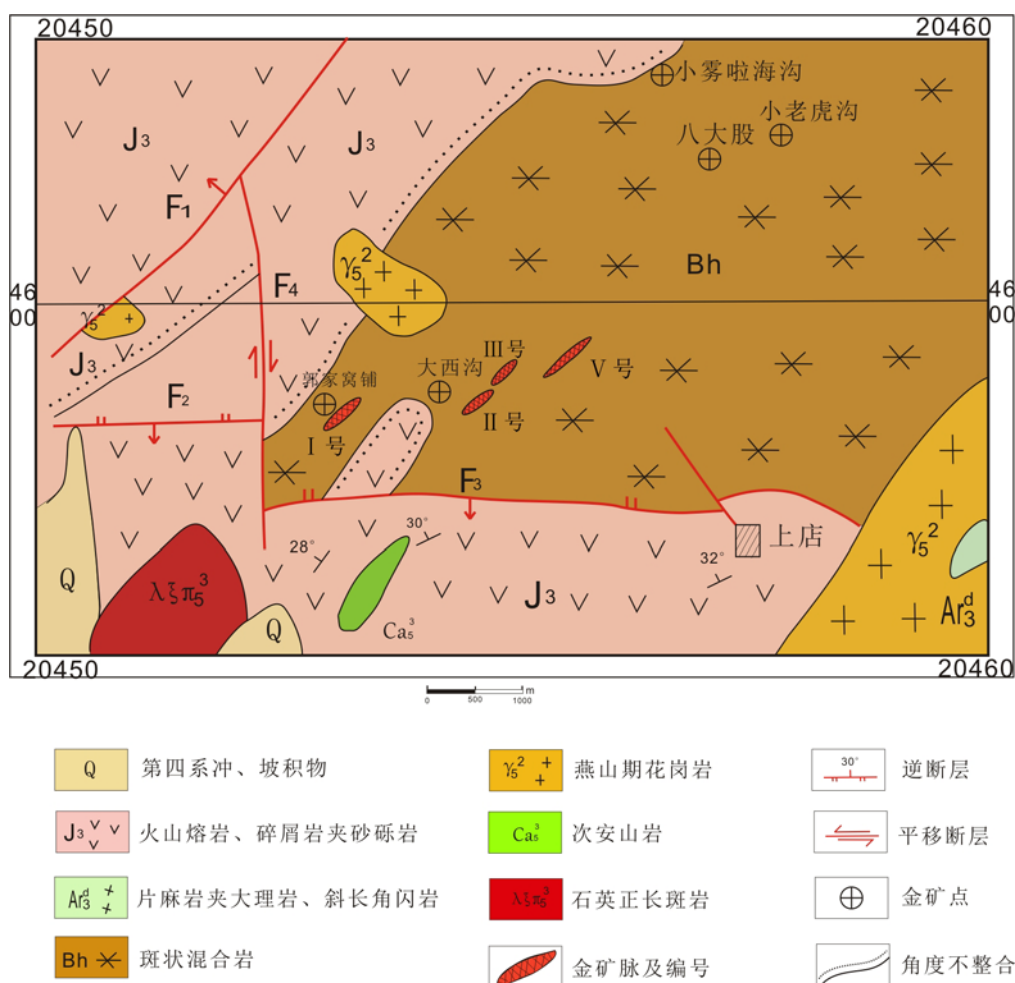


图 3-1 矿区构造简图（引自李建平，2006 年）

断裂构造在矿区内的多表现为断层构造（图 3-2(a、b)），一般为北东、北北东向分布。常有分支、平行构造带出现，规模不大，一般宽 5—20 米，长 100 至数百米，没有明显的构造面，推测受压扭性应力或韧性剪切作用所形成。矿区内含金硅化、钾化蚀变带即受此类构造破碎带的控制；成矿后的断层、裂隙较发育，多呈南北向或北西向，常将矿脉（体）错断，但错距一般几十厘米或几米，最大不超过 20 米。



图 3-2 大西沟矿区断裂带、断层

(a 矿区地表断裂带;b 金山五号五中段北巷 14 穿断层)

矿区内节理裂隙发育，与断裂构造共同对矿体起控制作用。矿体多赋存于节理裂隙发育地段，并呈雁行状排列，表现为剪节理带特征（图 3-3（a））。本区剪节理节理面平直光滑，节理延伸较远，产状较稳定，沿走向和倾向延伸较远。节理缝一般都较窄，处于毫米级别，无充填物，但也存在个别节理缝较宽，宽至几厘米，其中充填方解石或石英，形成方解石脉或石英脉（图 3-4(b)），脉宽较为均匀，而这些较宽的节理面依然光滑平直。

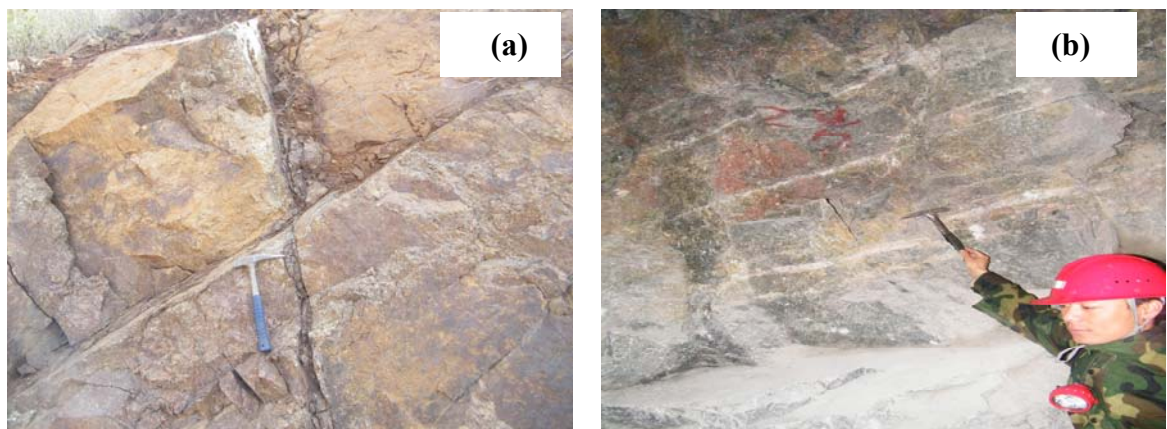


图 3-3 大西沟矿区内节理

(a、“X”型共轭剪节理;b、金山一号方解石脉沿节理面分布)

本次野外踏勘在金山一号、三号、五号矿区共 34 个点进行了节理产状测量，三个矿区分分别测得 170 组、332 组、274 组节理产状。由 3-4（a、b、c）三矿



区的节理走向玫瑰花图可看出，金山一号矿区节理走向主要为近南北向、北东向、北东东向，金山三号矿区节理走向主要为近南北向、近东西向、北西西向、北东向，金山五号矿区节理走向主要为近南北向、北东向、北东东向、北北西。

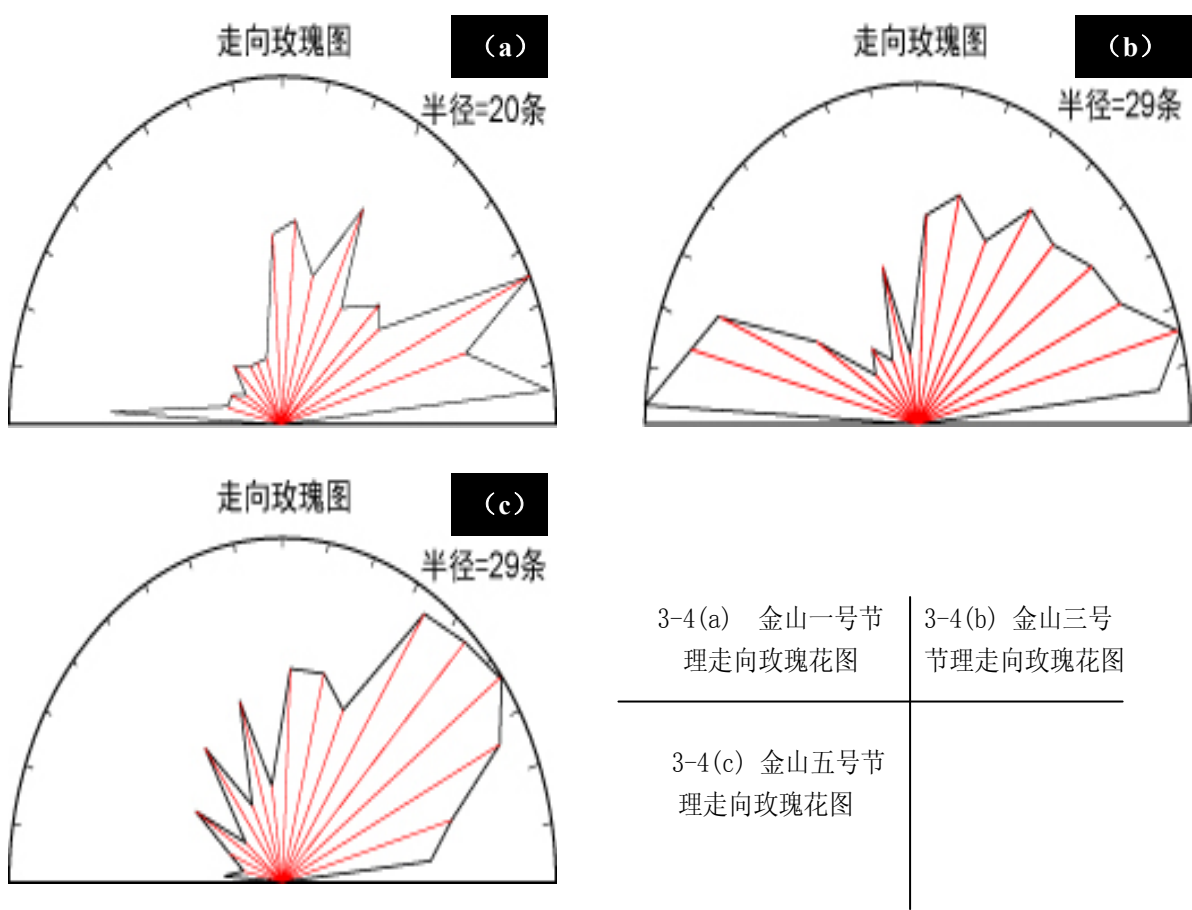


图 3-4 大西沟矿区节理走向玫瑰花图

3.4 矿床地质特征

3.4.1 矿体地质特征

大西沟金矿床是由四个矿脉组成的（图 3-1），均赋存于破碎蚀变带之中。勘查区内具工业意义的矿脉有 I 号脉、II 号脉及III号脉三条，规模较大、成矿远景较好的矿脉为 I 号脉与 II 号脉。现将 I、II、III号主要脉矿脉特征描述如下：

I 号脉：I 号脉位于郝家窝铺以南鹿角沟内，地表出露于 3 号井附近，由北东向韧性剪切带控制。矿区范围内控制走向长 740 米，宽度 5-20 米。总体走

向为北东  $60^{\circ}$ ，倾向南东，倾角  $28^{\circ}-60^{\circ}$ 。通过坑探和钻探工程控制，于 I 号脉内赋存 2 个矿体，编号分别为 I-1、I-2。I-1 号矿体构成 I 号脉的主体，矿体分布于 67 线至 139 线之间，控制标高 1303 米~1113 米。矿体呈不规则脉状产出，单工程真厚度最小 0.42 米，最大 2.17 米，平均 1.27 米，厚度变化系数为 34%；金品位平均  $3.22 \times 10^{-6}$ ，品位变化系数为 80%。属厚度变化稳定、品位变化均匀型矿体。I-2 号为低品位矿体，由沿脉 1350 米·一个水平中段控制，分布于 79 线至 71 线之间，控制标高 1340 米~1360 米。矿体呈脉状产出，走向长度 67 米，控制斜深 23.31 米。总体走向  $59^{\circ}$ ，倾向南东，倾角  $26^{\circ}-46^{\circ}$ 。单工程真厚度最小 1.34 米，最大 1.76 米，平均 1.51 米；金品位平均  $2.29 \times 10^{-6}$ 。矿体周围蚀变发育，主要有绢云母化、绿泥石化、硅化、钾化，其次有高岭土化、碳酸盐化等。与金矿化关系密切的黄铁矿化分布不均匀，黄铁矿化强烈部位多伴随较强绢英岩化、绿泥石化，易形成金工业矿体。

II 号脉：II 号脉由北东向韧性剪切带控制，地表出露于川辛店附近，矿区范围内控制走向长 600 米，宽度 5-37 米。总体走向北东  $60^{\circ}$ ，倾向南东，倾角  $40^{\circ}-60^{\circ}$ 。II 号脉内赋存 2 个工业矿体，编号分别为 II-1、II-2。II-1 号矿体分布于 100 线至 64 线之间，控制标高 1381 米~1206 米。矿体呈脉状产出，走向长度 299 米，控制斜深 174 米。单工程真厚度最小 0.24 米，最大 2.26 米，平均 1.36 米，厚度变化系数为 43%；金品位平均  $4.31 \times 10^{-6}$ ，品位变化系数为 49%。属厚度变化稳定、品位变化均匀型矿体。II-2 号矿体分布于 100 线至 84 线之间，控制标高 1371m~1317 米。矿体呈狭长透镜状产出，走向长度 175 米，控制斜深 54 米。单工程真厚度最小 0.66 米，最大 0.74 米，平均 0.72 米，厚度变化系数为 95%；金品位平均  $4.10 \times 10^{-6}$ ，品位变化系数为 80%。属厚度变化稳定、品位变化均匀型矿体。脉体周围蚀变发育，主要有绢云母化、绿泥石化、硅化、钾化，其次有高岭土化、碳酸盐化等。矿体周围蚀变带内脉岩较发育，主要为辉绿玢岩脉，在破碎带中有多条脉岩出现，起控矿作用。

III 号脉特征：III 号矿体分布于 147 线至 155 线之间，控制标高 1324 米~1285 米。矿体呈脉状产出，走向长度 75 米，控制斜深 36.64 米。总体走向  $60^{\circ}$ ，倾向南东，倾角  $53^{\circ}-70^{\circ}$ 。单工程真厚度最小 0.52 米，最大 1.66 米，平均 1.09 米，厚度变化系数为 43%；金品位平均  $4.36 \times 10^{-6}$ ，品位变化系数为 49%。

属厚度变化稳定、品位变化均匀型矿体。

### 3.4.2 矿石物质组成及特征

黄铁矿为该区矿石最主要的金属矿物，其它的金属矿物还有黄铜矿、褐铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿等；本区主要金属矿物种类相对简单，金属矿物在矿石中占有量在 1-3%之间，有用矿物只有自然金一种。

黄铁矿：黄铁矿在矿石中最为主要金属硫矿物，分布广泛，占金属矿物总量的 80%。整个热液活动期间都有黄铁矿出现。根据按其矿物特征、共生组合和在矿石中的分布状态可分为三类：

第一类：黄铁矿呈深而暗的铜黄色，碎裂明显，颗粒表面粗糙不平，粒度较大，粒径大于 1mm，呈团块状、不规则状、浸染状分布在脉石矿物中（图 3-5(a、b)）。主要形成于第一成矿阶段，金矿物多呈包体沉淀其中，常被后期矿化沿裂隙迭加。

第二类：颜色较淡，呈淡而亮的铜黄色，稍有破碎，粒径小于 1 毫米，与少量的黄铜矿、方铅矿及碲化物共生，呈不规则状、脉状、浸染状分布在脉石矿物中（图 3-5(c)）。主要形成于第二、第三矿化阶段，含金性较好，自然金大部分存在于其间隙和裂隙中。

第三类：黄铁矿与少量黄铜矿、闪锌矿、方铅矿共生，呈脉状或网脉状分布，贯穿于脉石矿物或早期形成的黄铁矿之中。黄铁矿多为自形晶，一般粒度 0.3-1 毫米（图 3-5(d)）。多形成于第三、第四成矿阶段，以第四阶段为主，含金性一般。

黄铜矿：铜黄色，弱非均质性。其产出方式有两种，一是呈乳滴状分布于闪锌矿之中（图 3-5(e)），粒径较小，另一种则是分布于黄铁矿、闪锌矿和脉石矿物的颗粒之间，这种黄铜矿的自形程度较差，一般呈他形粒状，矿物粒径相对较大。

闪锌矿：镜下为灰白色，均质性，半透明矿物，呈不规则片状及粒状，主要分布在长石裂隙中。常与黄铜矿以固溶体共生的形式存，或呈不规则状与黄铁矿、方铅矿共生（图 3-5(d)）。

方铅矿：镜下呈暗铅灰色，主要分布在黄铁矿的裂隙之中（图 3-5(f)），与金有一定的关系，常常和金矿物共生形成连晶。黄铁矿裂隙中的这种方铅矿

粒度相对较小，其粒径大小主要在 0.035-0.01mm 范围内，而分布在黄铁矿外侧的颗粒粒径则相对较大，可达到 0.15mm。方铅矿含量占矿石矿物总含量的 0.03% 左右。

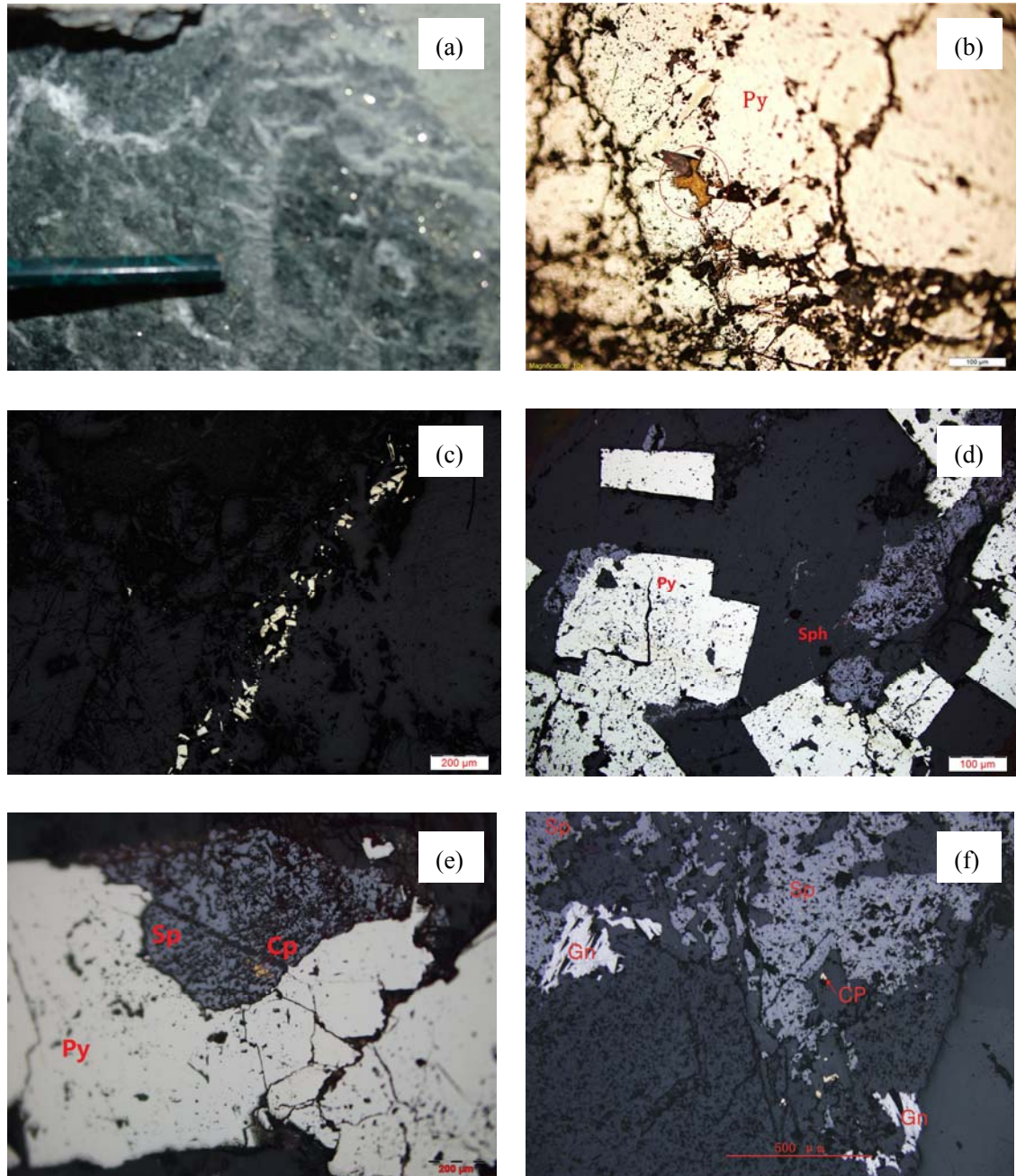


图 3-5 大西沟金主要金属矿物特征

(a、浸染状分布黄铁矿；b、早期形成的表面粗糙黄铁矿，含包体金；c、脉状分布的黄铁矿；d、与闪锌矿共生的自形黄铁矿；e、黄铜矿呈乳滴状分布在闪锌矿中；f、方铅矿-闪锌矿-黄铜矿共生)

本矿区主要的脉石矿物有石英、钾长石，其次还有斜长石、方解石、绿泥

石、白云石、绢云母等，石英和钾长石占脉石矿物总量的 90%以上。

石英：具有强烈的波状消光，他形粒状，颗粒粒径一般在 0.5—5mm 之间。本区石英有乳白色和烟灰色两种。其中烟灰色石英是主成矿阶段的产物，通常与金及浸染状分布的浸染状黄铁矿金属硫化物共生，这种石英与该矿床的成矿作用有着密切的关系，因此是该矿区一个重要的找矿标志。乳白色石英为油脂光泽，半透明，解理发育。石英约占矿石矿物含量的 45%。

钾长石：肉红色，呈半自形板状及他形粒状，粒径一般较大，较斜长石易于发生沿解理的剪裂。多为平行消光，部分也出现斜消光，钾长石有时具环状结构，即中心为条纹长石，外围为狭窄的微斜长石，两者界线清楚，沿边部及裂隙被绢云母交代。约占矿石矿物含量的 25%。

斜长石：呈半自形-他形粒状，斜长石双晶条带多显弯曲，具波状消光，沿斜长石裂纹有绢云母、石英及金属硫化物充填交代。约占矿石矿物含量的 5%

方解石：具有典型的菱形解理。一般呈脉状穿插于长石、石英等其他的脉石矿物之中。方解石脉一般较细，脉宽多在 0.05—0.4mm 之间。方解石约矿物含量 3%左右。

绢云母：呈细小鳞片状，集合体呈细脉状、网脉状，沿黄铁矿、石英等矿物裂隙分布。含量低于 1%。

### 3.4.3 矿石类型

大西沟金矿床的主体矿化类型为蚀变岩型矿化，其次为石英脉型矿化，这两种是本矿区最主要的矿化类型。

石英脉型矿石大部分是由烟灰色的石英组成，其含量一般在 90%以上，呈脉状或透镜状产出。矿石的主要构造类型为细脉形构造（图 3-6(a)），并且受后期构造破碎强烈。脉体与围岩的接触处伴有强烈的黄铁矿化，且两者接触部位界线清晰；蚀变岩型矿石的金属矿物是呈星点状分布的黄铁矿，矿石整体多呈现出灰绿色，绿泥石为主要的暗色矿物，斑晶为钾长石，中粗粒似斑状结构主要为块状构造（图 3-6(b)）。与石英脉型相比，蚀变岩型矿体与围岩的界限则略显模糊，不够明确。



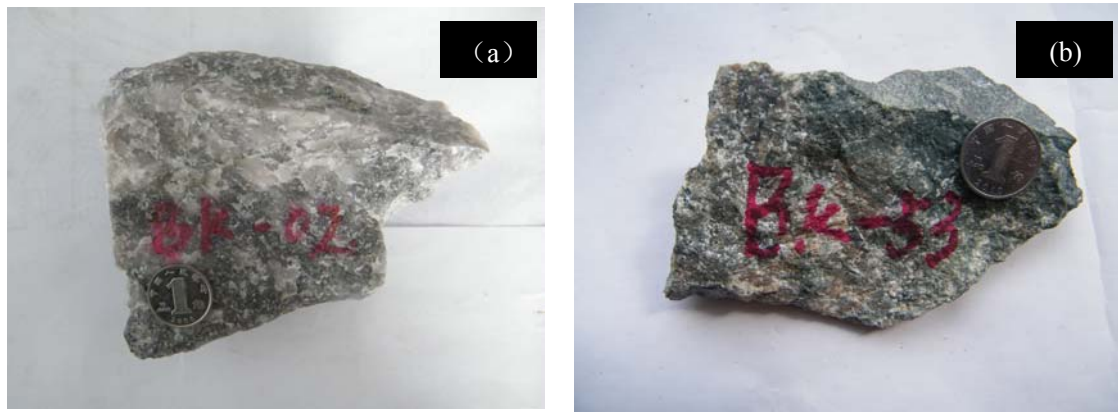


图 3-6 大西沟主要金矿石类型  
(a、石英脉型矿石；b、图 3-14 蚀变岩型矿石)

#### 3.4.4 矿石构造

大西沟金矿矿石的构造主要有块状构造（图 3-7(a)）、星散浸染状构造、脉状构造（图 3-7(b)）和角砾状构造等。

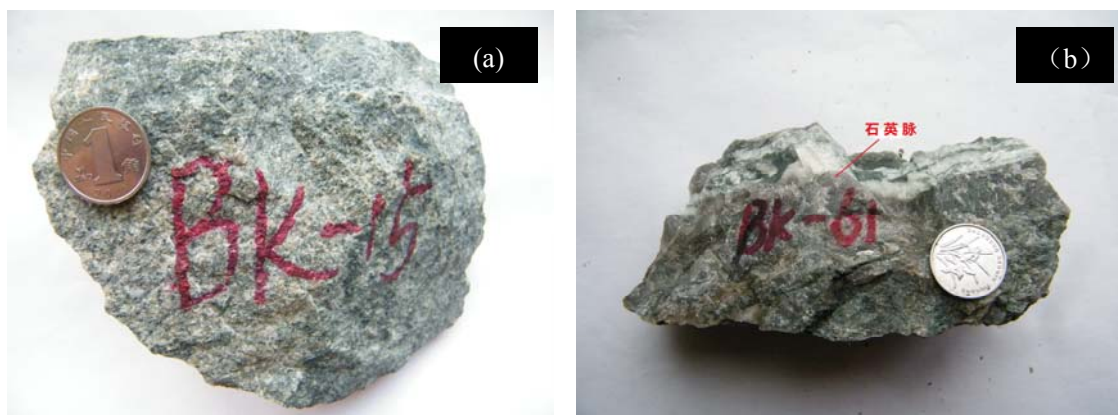


图 3-7 大西沟金矿主要矿石构造  
(a、块状构造；b、脉状构造)

#### 3.4.5 矿石结构

大西沟金矿的矿石结构可分为自形-半自形结构、不等粒结构(图 3-8(a))、碎裂结构(3-8(b))、交代结构、条纹结构(图 3-8(c))、网脉状结构(图 3-8(d))、乳浊结构、共结边结构。

①自形-半自形结构：该矿区矿石中呈自形、半自形的矿物相对较多较多，如早期形成的黄铁矿、石英、长石、闪锌矿、方铅矿等，几乎矿石中所有的矿

物都存在这种最普遍结构，它们的晶形大多发育不完全。

②不等粒结构：矿石的主要矿物，石英、钾长石、斜长石等颗粒大小不等。

③碎裂结构：具有这种结构的矿物一般形成较早，在后期因受到周围的地质应力作用而导致晶体破碎而最终呈现出破碎状，如一些早期形成黄铁矿、石英就常常具有这种结构。在后期这些矿物的破碎裂隙中常常会被后面生成的金属硫化物或者石英细脉所填充。

④交代结构：宏观上这种结构一般表现为石英脉围岩的绿泥石化、绢云母化等。在显微镜下主要表现为较早形成的矿物中当发育有解理或裂隙时，在其之后形成的矿物在这些解理裂隙中与之发生熔融交代作用，被交代出的矿物留在交代矿物之中，形状多不规则。

⑤乳浊结构：本矿区矿石中的闪锌矿和黄铜矿这两种矿物之间常常会出现这种结构常见，当两种矿物之间发生溶离作用，最终会导致闪锌矿内出现乳滴状的黄铜矿，即乳浊结构。

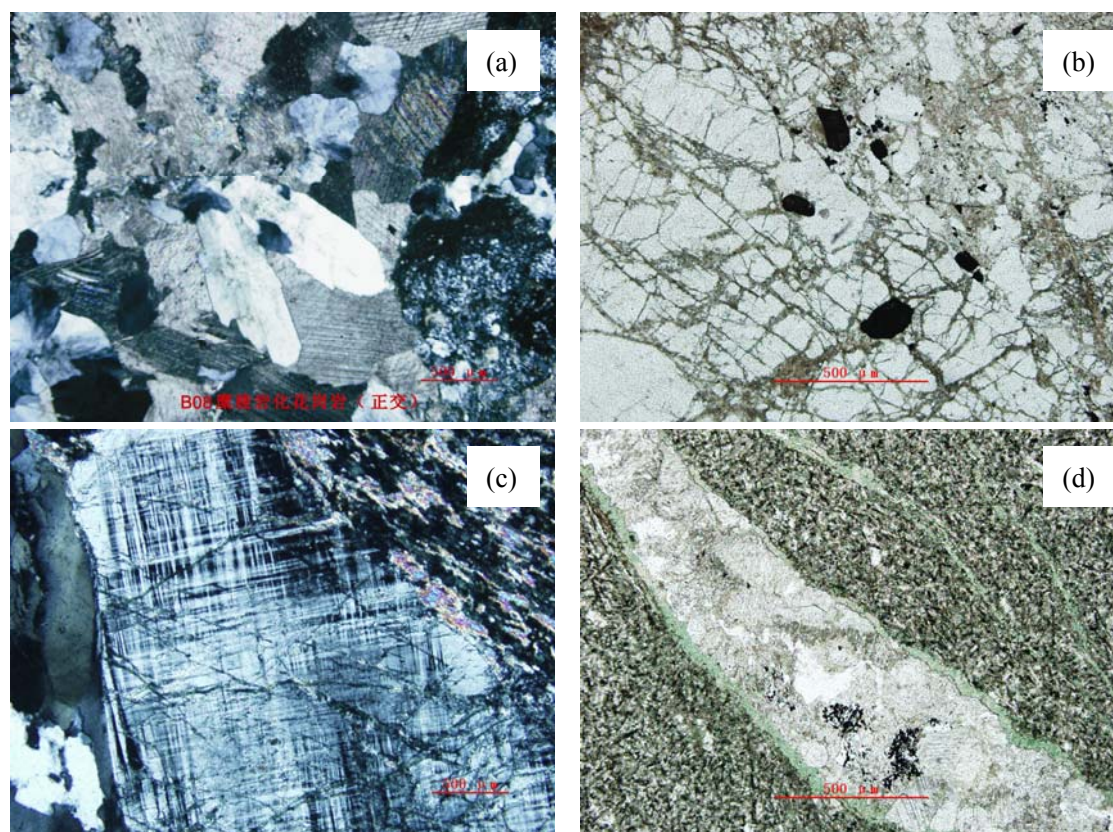


图 3-17 大西沟金矿矿石主要结构

(a、不等粒结构（正交）； b、碎裂结构（单）； c、条纹结构（正交）； d、脉状结构（单）

### 3.5 矿物生成顺序及成矿阶段划分

表 3-1 大西沟金矿床矿物生成顺序表

	热液期				表生期
	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段	
石英	————			——	
绿泥石		————	——		
方解石			————	——	
重晶石				——	
绢云母				——	
自然金	————	————	——		
银金矿		————	——		
黄铁矿	————	————	——		
闪锌矿		————	——		
黄铜矿		————	——		
方铅矿		————	——		
辉钼矿		————	——		
褐铁矿					————

通过野外观察及矿石分析等现将大西沟金矿热液期成矿作用分为以下四个阶段，分别为：

（I）钾化-硅化-金成矿阶段：为成矿作用的最开始的一个时期。这个阶段形成了一条钾化蚀变带，形成原因是由于为围岩被钾长石交代。这一阶段的矿石多数呈灰绿色，似斑状结构，其斑晶多为钾长石、石英斑晶，构造则以块状构造为主。但这一阶段形成的矿石，由于形成时间较早，大多数在经历了后期漫长而复杂的蚀变作用之后其最初的结构成分都会有所变化。这一阶段形成的矿石含金性相对较差。

（II）石英-绿泥石化-多金属硫化物金成矿阶段：这一阶段是大西沟矿区最重要的成矿阶段。矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿等，脉石矿物主要为石英、钾长石、绿泥石等。绿泥石化和显著的黄铁矿化大范围的出现，是这一阶段相比硅钾化金成矿第一阶段的一个显著的差别。石英多为烟灰色，晶形较完整，颗粒较大，说明成矿期间为其提供了足够的空间。由于进一步发生硅化，这一阶段的石英已经形成了较好的脉状分布。此阶段的脉体穿插并胶结第一阶段石英脉。黄铁矿颗粒以中细粒为主，自形程度较差，一般多为半自形、它形晶。

（III）石英-绿泥石阶段为成矿晚期阶段：相较于前一阶段，这一阶段的黄

铁矿化较少，且黄铁矿颗粒不大，呈星散状分布于矿石之中。绿泥石、石英是这一阶段的最主要矿物。这一阶段形成的矿石属贫矿石，品位很低。

（IV）碳酸盐阶段同属成矿晚期阶段：这一阶段的矿石几乎不含黄铁矿，以碳酸盐、石英、绿泥石等矿物为主。碳酸盐多呈细脉状产出，镜下观察此阶段石英多切穿主成矿期。

### 3.6 围岩蚀变

大西沟金矿的矿体围岩蚀变发育，围岩蚀变特征与典型的岩浆热液型金矿的蚀变特征相似。主要的有硅化、钾长石化、黄铁矿化、绿泥石化、绢云母化和碳酸盐化。钾长石化、硅化和黄铁矿化与该矿床的金成矿作用关系密切，硅化蚀变向深部明显增强。

#### 1、钾化

钾化都分布在蚀变带往外侧，也可邻近矿体出现，形成于成矿前及成矿最初阶段。矿石特点整体呈浅肉红色。钾长石化大致可以分为两期：第一期钾化常呈脉状沿裂隙产出，局部钾化强烈者呈不规则团块状，构成矿化度较大的钾长蚀变带。此阶段钾长石颗粒粗大，自形程度高，粒径一般约为 2~4cm，未见黄铁矿化，所以推断其为成矿期前的蚀变产物；第二期钾长石多为肉红色，均匀分布于岩石中，它形晶或半自形晶，粒度较细，粒径小于 1cm，该期伴生强烈的黄铁矿化，与金矿化有密切关系。

#### 2、硅化

硅化是本矿区最普遍、最重要的一种热液蚀变，在热液作用的多个阶段皆有发育。所形成的石英往往与绿泥石、黄铁矿呈胶结物状态存在于蚀变岩中。在蚀变岩中石英呈灰白至烟灰色，多为它形粒状交代原岩。独立存在的硅化现象呈微细脉状充填于围岩、矿物或蚀变岩构造裂隙之中，石英颗粒极小，脉体烟灰色，与矿化关系密切。通常硅化越强，金的品位越高，反之亦然。

#### 3、黄铁矿化

黄铁矿是矿床围岩蚀变矿物中的主要蚀变矿物之一，也是重要的载金矿物，在矿体边缘以及附近的围岩中分布，一般呈浸染状，细脉状。

#### 4、绿泥石化

绿泥石化是发生在热液成矿的中后期，有时伴有黄铁矿化。虽然本区绿泥石化蚀变较强、普遍，但主要分布在矿脉、蚀变岩带外侧，含金性不好，仅具有微弱金矿化。

#### 5、绢云母化

绢云母化在整个热液活动期间都可能会出现，本矿区内在热液活动不同阶段都发育有不同程度的绢云母化，但其与矿床的金成矿作用关系并不大。

#### 6、碳酸岩化

碳酸盐化几乎在该地区各金矿区均有出现，以方解石为主，粒度一般为中粗粒，呈脉状或网脉状分布，出露广泛而不规则，矿脉、邻近矿体及围岩中均有发育。方解石脉常常穿插分布于早期形成的蚀变岩或石英脉之中，有时方解石也会石英共生组成细的石英-碳酸盐脉，并常常与高岭土化密切共生。大量碳酸盐脉的出现，往往预示着金矿化的结束。



## 4 金的赋存状态研究

金的赋存状态严格地讲应包括金的存在形式和金的赋存状态两方面。金的存在形式指的是金矿石中金物理状态和化学状态。金矿物在岩石和矿石中是高度分散并且以微细粒或者超微细粒存在这就是金的物理状态。现在说的“微细粒金”和“不可见金”常常就包含了这一层物理状态的意思。而金的化学状态的实质就是金的价态问题。根据金的物化态特征，现在一般将金的存在形式划分为五种，即金矿物、胶体金、晶格金、吸附金和有机金<sup>[40]</sup>。金的赋存状态则是仅指金和载金的矿物或是矿石矿物之间的关系，也就是它们之间的嵌布特征。严格意义上的金的赋存状态是金的存在形式和金的赋存状态的统称<sup>[41]</sup>。

### 4.1 金的赋存形式

本次试验共采集不同矿区、矿体不同部位矿石标本 50 块，磨制光片 132 片，光薄片 73 片。通过矿相的鉴定，在反光显微镜下发现了约 550 粒的金矿物，通过电子探针分析大部分为银金矿和含银自然金。通过观察分析可得出结论，大西沟金矿中的金主要是以金矿物的形式存在，并且主要为显微金。

表 4-1 大西沟金矿精矿、尾矿元素含量测定

元素名称	Cu	Pb	Zn	Fe	S	As	C
精矿中 含量(%)	0.15	0.060	0.071	25.32	26.62	0.00	0.79
尾矿中 含量(%)	0.004	0.000	0.009	3.78	0.030	0.00	0.46
元素名称	Al2O3	MgO	CaO	SiO2	Au(g/t)		Ag(g/t)
精矿中 含量(%)	5.24	0.09	2.21	18.50	109.00		6.30
尾矿中 含量(%)	8.10	0.49	3.39	70.35	0.35		

（资料来源河北省地质矿产勘查开发局第四地质大队）

注：尾矿：指的是原生矿石经过粗略筛选重砂后剩余的部分。

原生矿石=精矿+尾矿。

从表 4-1 中可以看出，当原始矿石经过重砂矿物粗选后，剩余的尾矿的尾

矿中 Au 的含量为 0.35 g/t, 而精矿中的 Au 含量高达 109.00 g/t, 即尾矿中 Au 含量较原生矿石很大幅度的下降, 说明矿石中重砂矿物应该与大西沟金矿金的赋存有着密切的关系。通过镜下观察可知, 矿石中的这些重砂矿物主要以黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等为主。反光显微镜下也发现了赋存在石英裂隙中、晶隙中的金矿物, 推测尾矿中的 Au 含量应是和石英的存在有直接的关系。

对于本矿床是否存在类质同象金(晶格金), 由于实验条件及时间的限制, 这一问题还有待于进一步进行研究。

## 4.2 金矿物种类与成色

关于自然金-自然银系列矿物的划分方法到目前为止还没有一个统一的标准可遵循, 综合前人相关的研究资料, 本次试验采用划分方案见表 4-2。

表 4-2 金-银系列矿物分类表

高温金系列	矿物名称	Au	Ag
高温金系列	自然金	>95	<5
高-中温 Au-Ag 系列	含银自然金	95~85	5~15
	银金矿	85~50	15~50
中-低温 Au-Ag 系列	金银矿	50~15	50~85
	含金自然银	15~5	85~95
	自然银	<5	>95

(据: 张振儒, 1989 年)

本次研究共挑选了不同采场的多块矿石进行电子探针实验。根据电子探针的分析, 大西沟金矿物的 Au、Ag 成分含量见表 4-3、4-4, 其中 Au 的含量为 63.91%~88.06%, Ag 的含量大约为 11%~36%之间, 因此根据张振儒的划分方案, 本矿床的金矿物类型主要为含银自然金和银金矿。



表 4-1 大西沟金矿物电子探针测试结果

编号	采样点	样品编号	载金矿物	Ag	Au	Total
1	金山一号 103 采场	B1	黄铁矿包裹金	35.9	63.56	99.46
2			石英包裹金	24.09	75.87	99.95
3		B10	黄铁矿包裹金	22.98	76.63	99.61
4	二道沟 305 采场	B11	石英包裹金	20.07	79.9	99.96
5			黄铁矿包裹金	21.08	78.6	99.68
6		B12	黄铁矿裂隙金	20.12	79.79	99.91
7	石英包裹金		20.17	79.73	99.9	
8	二道沟 306 采场	B14	石英包裹金	18.06	81.4	99.46
9		B15	黄铁矿裂隙金	14.39	84.9	99.29
10			黄铁矿裂隙中石英包裹金	14.74	84.5	99.25
11		B23	石英中包裹金	28.62	71.7	100.32
12			石英黄铁矿间晶隙金	28.37	71.3	99.67
13	金山三号 305 采场	B25	石英黄铁矿间晶隙金	28.43	71.44	99.88
14			石英中包裹金	18.12	81.67	99.79
			石英中包裹金	18.3	80.78	99.09
15		B27	石英黄铁矿间晶隙金	18.63	80.92	99.54
16			石英包裹金	16.38	83.23	99.61
17	金山五号 405 采场	B30	黄铁矿裂隙金	16.67	83.04	99.72
18	金山五号 409 采场	B32	石英包裹金	13.06	86.37	99.43
19		B33	石英黄铁矿间晶隙金	12.73	86.73	99.46
20			黄铁矿包裹金	12.58	87.03	99.61
21		B35	黄铁矿裂隙金	12.83	87.08	99.91
22			黄铁矿裂隙金	12.97	86.49	99.46
23	金山五号 503 采场	B41	石英包裹金	11.89	87.7	99.59
24			石英包裹金	17.88	81.43	99.3
25			黄铁矿裂隙金	18.14	81.32	99.45
26	金山五号 601 采场	B43	黄铁矿内石英包裹金	17.04	83.67	100.72
27		B49	黄铁矿包裹金	14.63	84.6	99.24
			黄铁矿包裹金	15.22	83.86	99.08

(测试单位：中国地质大学（北京）电子探针实验室)

现在关于金的成色计算方法一般有两种。一种是金矿物中的金的总量与金银总量的和之比再乘以 1000, 用于分数表示为  $(A u/Au+Ag) \times 1000$  (Fisher, 1945); 另一种计算方法为  $(A u/Au+Ag+其他矿物) \times 1000$  (R.W.Boyle)。前一种计算方法已被大多数学者认可, 因为金银为金矿物中最常见的元素, 其他元素则较少见, 并且含量很低<sup>[42]</sup>。本文即采用第一种计算方法。通过计算得出金的成色见表 4-4、4-5, 大西沟金矿金矿物的成色变化范围较大, 为 639~880, 平均 809, 普遍位于 750~880 这一区间。

表 4-4 大西沟金矿物 Au、Ag 相对含量及成色统计表

Ag (%)	36.09	24.10	23.07	20.71	21.15	20.14	20.19	18.16	14.49	14.85
Au (%)	63.91	75.90	76.93	79.29	78.85	79.86	79.71	81.84	85.51	85.15
成色	639.1	759.0	769.3	729.9	788.5	798.6	797.1	818.4	855.1	851.5
金矿物种类	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	含银自然金	含银自然金
Ag (%)	28.53	28.46	28.46	18.16	18.47	18.72	16.44	16.72	13.13	12.80
Au (%)	71.47	71.54	71.54	81.84	81.53	81.28	83.56	83.28	86.87	87.20
成色	714.7	715.4	715.4	818.4	815.3	812.8	835.6	832.8	868.7	872.0
金矿物种类	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	银金矿	含银自然金	含银自然金
Ag (%)	12.63	12.82	13.04	11.94	18.01	18.24	16.92	14.74	15.36	
Au (%)	87.37	87.18	86.96	88.06	81.99	81.76	83.08	85.26	84.64	
成色	873.7	871.8	869.6	880.6	819.9	817.6	830.8	852.6	846.4	
金矿物种类	含银自然金	含银自然金	含银自然金	含银自然金	银金矿	银金矿	银金矿	含银自然金	银金矿	

(Au, Ag 含量均为换算为 100%后含量, 金成色=  $(A u/Au+Ag) \times 1000$ , 即换算后 Au 含量 $\times 1000$ )

表 4-5 大西沟金矿物成色统计表

成色范围	低于 700	700-750	750-800	800-850	850-880	总数
个数	1	4	5	10	9	29
比例 (%)	3.45	13.79	17.24	34.48	31.04	100

#### 4.2.1 影响金矿物的因素

(1) 金的成色与成矿温度有关。一般金矿床形成的温度越高, 金的成色

也就越高，反之则亦然<sup>[42]</sup>。例如，张振儒等统计了美国的一些金矿床（表 4-6），可以看出金的成色与成矿的温度就呈一定的正相关关系。

金的成色与成矿温度的这种关系是因为金、银固溶体随着温度的变化而变化的：Au 的结晶温度是 1063℃，而 Ag 的结晶温度是 960.8℃。高温时 Au 先结晶，故金的成色高，低温时跟有利于 Ag 的结晶，此时金的成色较低（图 4-1）。

表 4- 6 美国某些金矿床中金的成色与成矿温度

矿床类型及成矿温度	样品数	分析次数	金的成色
怀俄明州狄安娜矿山（高温型）	1	6	926
蒙大拿州（高温热液交代型）	3	16	997
科罗拉多州乔尼（中偏高温型）	1	5	891
科罗拉多州迪克西（中温型）	1	18	808
科罗拉多州皮克矿区（低温型）	5	10	756
内毕达州环山区（低温型）	3	15	786

（据张振儒 1986 年）

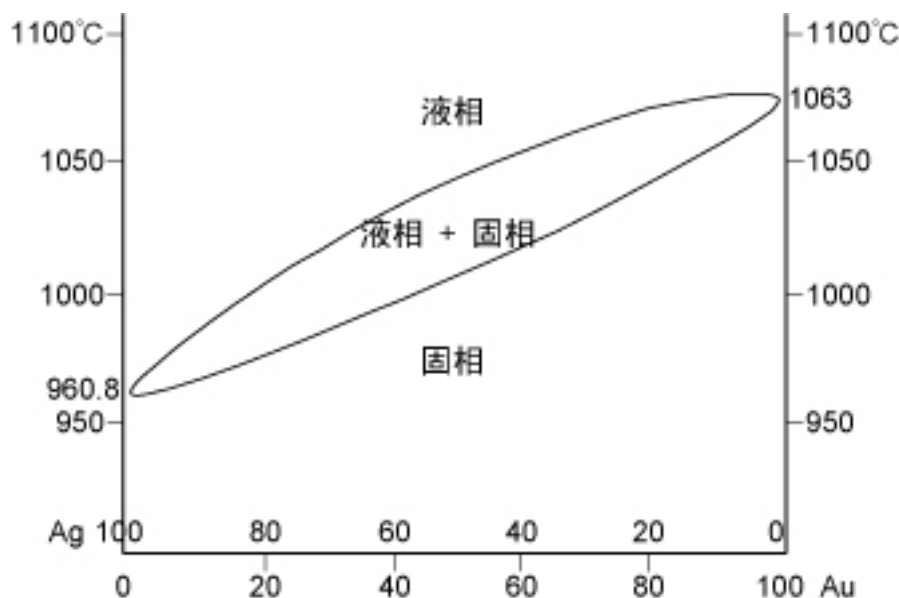


图 4-1 Au-Ag 相图（据唐有棋）

大西沟金矿的金平均成色为 809，根据表 4- 可推断该矿床应属于中低温型矿床。

（2）金的成色与矿床形成深度有关。一般形成的深度越大，成矿温度越高，金的成色也就越高，反之亦然。这可能是由于随着成矿深度的增大而压力

增加,使银不利于类质同象替换金,导致了金的成色高。张振儒总结了远东地区 91 个内生金矿床的成矿深度与成色之间的关系,其中 51 个深成金矿床的平均金成色为 886.7,40 个浅成金矿床的平均金成色为 647.3。

大西沟金矿床的金成色普遍位于 750~880 这一区间,应属于中浅成金矿。

(3) 金的成色和矿床的形成时代有关。一般成矿时代越早,金的成色越高,反之则亦然(表 4-7)。这是因为成矿的时代越早,经受后期的变质作用的几率也就越高,变质作用强烈,导致金的重结晶和自净化作用愈加明显。银的化学性质较金更加活泼,其扩散的速度比金更快,从而有利于排除银杂质。

表 4-7 不同时代金矿床的金成色

时代	矿床类型	金的成色
前寒武纪	湘西金矿(再造型)	985.4~987
	南非兰德式	880~950
	苏联远东阿尔卑斯式	850~950
中生代	鄂东砂卡岩型 Fe-Cu 矿床中的伴生金	750~950
	苏联远东南部高温热液型金矿床	700~900
	苏联远东南部中高温热型金矿床	700~900
中、新生代	苏联远东南部低温热液型金矿床	680~760
第三纪	我国近地表火山岩中的 Au-Ag 矿床	650~750

(据张振儒 1986 年)

中生代正是华北地台北缘进入内陆造山的阶段,构造、岩浆运动最为强烈<sup>[46]</sup>。根据该矿区金的平均成色 814,可推断大西沟金矿应是这一时期构造岩浆运动的产物,初步判断该矿床的成矿时代应为中生代。

## 4.3 金矿物特征

### 4.3.1 金矿物的粒度

金矿物颗粒大小是决定矿山在选择选矿的流程、提高金的回收率的一个重要参数,其统计结果往往能反映真实的金矿物颗粒的大小,是金的赋存状态研究中的一个不容忽视的重要环节。本次试验粒度分类依据见表 4-8。

本次试验采集的 50 块矿石样品手标本中均未发现肉眼可见的自然金。经高

倍显微镜观察，共找到约 551 粒。据观察到的金矿物统计得到的粒度特征见表 4-9。镜下观察到该矿区金的粒径变化范围在 2-40  $\mu\text{m}$ ，按照立即分类属于显微金。而其中又以小于 10  $\mu\text{m}$  的细粒金矿物的占大多数，约占 81.5%。

表 4-8 自然金粒度分类及其依据

粒度分类	直径	依据
明金	$>0.1\text{mm}$	肉眼最高分辨率
显微金	$0.1\text{mm}\sim 0.2\mu\text{m}$	光学显微镜最高有效分辨率
次显微金	$0.2\mu\text{m}\sim 2\text{nm}$	胶体粒径范围
原子分散金	$2\sim 0.288\text{nm}$	单金原子到数个单原子聚集体

（根据：刘英俊，1991 年）

表 4-9 显微镜下大西沟金矿金粒度统计

粒径范围	$<10\mu\text{m}$ (细粒)	$10\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ (中粒)	$>20\mu\text{m}$ (粗粒)	总和
粒数	449	56	46	551
百分比 (%)	81.49	10.16	8.35	100

（注：粒径统计均按照观察到的金矿物最长轴为标准）

### 4.3.2 金矿物的形态

本矿区的金矿物的形态主要有规则和不规则两种形态。其中规则形态指的是金矿物呈细粒的等轴的圆形或椭圆形等状态以包裹金的形式存在于黄铁矿或者石英等载金矿物的晶粒内部（图 4-2 (a)）；而以不规则状则是主要呈他形粒状、针状、片状及裂隙填充等不等轴形态，不规则形态的金矿物主要是出现在黄铁矿、黄铜矿、石英等的裂隙及晶隙之中（图 4-2(a、b、c),图 4-4,图 4-5），相比之下，不规则状形态是该区内金矿物的最常见的形态。

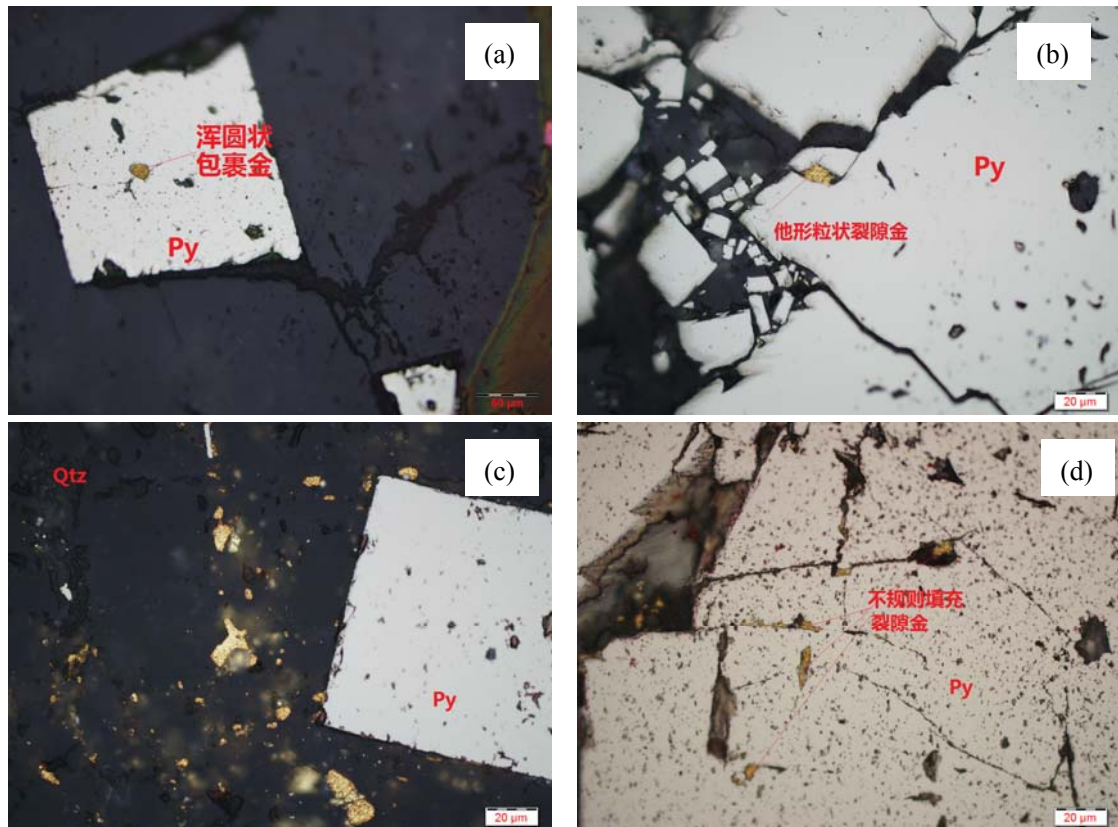


图 4-2 大西沟金石英、黄铁矿中金矿物的形态

(a、黄铁矿晶体内部规则浑圆状的包裹金；b、黄铁矿裂隙内的他形粒状裂隙金；c、石英中包裹的形态不规则的金矿物；d、黄铁矿裂隙、晶隙中填充的不规则金)

### 4.3.3 金矿物的嵌布特征

根据金矿物的嵌布特征可将大西沟金矿的金矿物分为包裹金、裂隙金、晶隙金（粒间金）三种。

**包裹金：**指包裹于主矿物之中金矿物，形态多为圆形或椭圆形，一般包裹金的形成时间早于主矿物<sup>[43]</sup>。

**裂隙金：**指的是填充于矿物的裂隙或者解理之中的金矿物，形态取决于裂隙或解理的形态，一般为不规则的裂隙填充的长条状或树枝状。裂隙金的形成时间晚于主矿物<sup>[43]</sup>。

**晶隙金：**也被称为“粒间金”，指的是金矿物位于其他的矿物晶体颗粒之间，既可以是同种矿物晶体也可以是不同的矿物晶体。晶隙金一般是与主矿物同时形成的<sup>[43]</sup>。

在对大西沟金矿区的矿石样品光片及光薄片进行显微镜下观察时，包裹金、

裂隙金、晶隙金都可见到（图 4-2（a、b、c、d））。具体的统计结果见表 4-10。

表 4-10 大西沟金矿金矿物嵌布类型统计表

嵌布类型	包裹金	裂隙金	晶隙金	合计
颗粒数目	394	65	92	551
所占比例（%）	71.5	11.8	16.7	100

从表 4-7 可以看出，本矿区的金矿物主要是以包裹金的形式存在，约占 71.5%，晶隙金次之，占总数的 16.7%，裂隙金最少，只有 11.8%。

通过对所观察到的 551 粒金矿物的嵌布特征进行统计（表 4-11），可以看出大西沟金矿的金矿物有如下的分布特点：

（1）包裹金主要存在石英和黄铁矿中。这两种形式占包裹金的 96.7%，其中石英中包裹金又是最主要的一种，占全部包裹金的 80%以上，产于其他闪锌矿、雌黄等其他矿物中的包裹金仅占 4%。

（2）晶隙金主要与石英、黄铁矿的关系密切。产于不同晶体颗粒间的金矿物比例相近。

（3）裂隙金主要以黄铁矿裂隙金为主，占 78.46%，石英裂隙金占裂隙金总数的 21.54%。

显然，本矿区黄铁矿、石英是与金最密切的矿物相。

表 4-11 金矿物嵌布状态统计表

嵌布类型	产出方式	颗粒数目	相对含量（%）	合计（%）
包裹金	黄铁矿	64	16.24	100
	石英	317	80.46	
	闪锌矿、雌黄	13	4.10	
裂隙金	黄铁矿	51	78.46	100
	石英	14	21.54	
晶隙金	黄铁矿	37	40.22	100
	石英	21	22.82	
	黄铁矿、石英	34	36.96	



## 4.4 主要载金矿物黄铁矿的特征

### 4.4.1 黄铁矿不同世代特征

黄铁矿是大西沟金矿最主要的载金矿物，它具有多晶形、多期次、成分复杂以及含金量变化大等特征，而这些都与金的成矿作用与演化有着密切关系。黄铁矿贯穿于该矿床金矿化的整个过程，对应于热液期、表生期两个不同的成矿时期，黄铁矿具有不同的特征。在成矿热液期，根据穿插的相互关系及组成矿物共生特点等初步判断出了矿石中矿物的生成顺序，可据此将大西沟金矿床中的黄铁矿划分为四个世代，而其中第二、三世代的黄铁矿是在金矿化主要时期形成的。

表 4-12 大西沟金矿不同世代黄铁矿产出特征

形成阶段	钾化-硅化-金成矿阶段	石英-绿泥石化-多金属硫化物金成矿阶段	石英-绿泥石阶段	碳酸盐阶段
黄铁矿世代	I	II	III	IV
黄铁矿晶形	自形-半自形晶体，立方体为主，也有五角十二面体	半自形-他形晶为主	半自形-他形晶为主	自形晶体，立方体、五角十二面体
粒度	中粗粒，0.1-5mm 均有，一般大于 1mm	细粒，粒度一般都小于 1mm	细粒，粒度一般都小于 1mm	中粗粒，一般大于 1mm
破碎程度	较完整	强烈	中等	完整
共生矿物	与乳白色石英、钾长石共生，偶见方铅矿、黄铜矿，含自然金	与烟灰色石英、自形-他形的方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、银金矿共生，有绿泥石化出现	与乳白色石英、他形方铅矿、黄铜矿等共生，含自然金、银金矿	与石英、方解石、绿泥石等共生
产出特征	呈星点状分布在石英脉内或其上盘，有时也可呈块状或细脉状	呈致密块状、条带状、细脉状、网脉状产于矿石中	主要呈细脉状、分散粒状分布于石英脉或其上盘	呈浸染状、细脉状产于石英脉的中部尖灭端，或者碳酸盐脉中
含金性	差	很好	好	一般不含金

成矿热液时期各世代黄铁矿具有不同的形态、共生矿物、产出特征以及含金量（见表 4-12）。从成矿热液早期到晚期，与黄铁矿共生的矿物由简单到复杂再到简单，这个规律和黄铁矿含金性的变化具有明显的一致性。所以，金矿床

中黄铁矿的共生矿物组合的特征可以作为金矿床矿化的找矿标志和评价准则。石英-黄铁矿-自然金组合是大西沟金矿含金的标志；而石英-黄铁矿-方铅矿-黄铜矿-自然金，特别是这种组合中含有细粒网脉状的黄铁矿分布时，一般就是富金的标志；石英-黄铁矿-碳酸盐组合则是贫金和无金的标志。

由表 4-12 可看出，矿区内黄铁矿的形态与含金量呈负相关的关系，即自形程度较高的中粗粒的黄铁矿含金性差，而自形程度较差的黄铁矿的含金性好。

对于黄铁矿形态与其含金性之间的这种负相关的一种可能解释是，中粗晶黄铁矿绝大多数形成于热液成矿第一阶段，该阶段的介质中金含量少，并且成矿溶液大多为偏碱性，这不利于金的沉淀，故能进入黄铁矿中的金也很少，除此之外，这种早期形成的黄铁矿可能又经历了后期多次地质作用的叠加改造，并最终导致其自身的重结晶作用，从而挤出黄铁矿结构内包括金在内的杂质组分而净化自身，因此中粗粒黄铁矿含金性较差。相对而言，细粒黄铁矿的形成时间较晚，且多发生于热液成矿的主成矿阶段，此时温度、压力条件适中，成矿溶液中含金量较高，介质的酸碱度适中，这些条件更有利于金的沉淀。而且在这一阶段黄铁矿的生长核心多，结晶速度很快，在黄铁矿晶体内部容易出现大量的晶格缺陷，如此一来则促使金在该时期大量沉淀并赋存于黄铁矿之中。加之黄铁矿形成以后发生的地质改造作用弱，后期变化不会很大，从而使其保留形成时富金的特点<sup>[44]</sup>。

#### 4.4.2 黄铁矿的化学成分

表 4-13 黄铁矿的化学成分

样号	世代	S	Fe	Co	Ni	合计	S/Fe (原子数)	Fe/S	Co/Ni
b10-1pY	II	52.46	46.45	0.12	0.08	99.11	1.972	0.885	1.5
B32-1pY	III	52.12	46.75	0.10	0.07	99.04	1.951	0.897	1.43

（测试单位：中国地质大学（北京）电子探针实验室）

黄铁矿电子探针结果（见表 4-13）分析表明，主要矿化时期（II、III 世代）的黄铁矿中的 S、Fe 含量相差不大，但二者都低于其理论值（S53.45%, Fe46.55%），并且 S、Fe 的原子数比不是严格的 2:1，而是微略偏小。这说明黄铁矿中 S 略

亏损, Fe 相对 S 略有富余, 这与一般金矿床中黄铁矿多亏损 S 的情况相符合。黄铁矿中 Fe: S 的值, 理论上是  $46.55:53.45 \approx 0.871$ 。由表 4-10 可见, 本矿区黄铁矿的 Fe/S 值多大于 0.871, 表现为硫亏损。

在元素周期表中, Co、Ni 和 Fe 都是属于第四周期Ⅷ族的元素。晶体化学性质相似, 热化学性质也很相似, 故在黄铁矿中, Co、N 与 Fe 可以相互替换。研究中可根据这 Co/Ni 比值来判定矿床成因或者其形成环境。通常认为内生成因的矿床 Co/Ni 比值大于, 而相反外生成因的该比值一般是小于 1 的<sup>[45]</sup>。本区黄铁矿的 Co/Ni 值大于 1, 说明大西沟金矿为内生成因。

## 4.5 本章小结

- 1、大西沟金矿的金主要是以金矿物的形式存在。
- 2、金矿物类型主要为含银自然金和银金矿, 金矿物的成色变化范围较大, 为 639~880, 平均 809, 普遍位于 750~880 这一区间。
- 3、矿区金的粒径变化范围在  $2-40 \mu\text{m}$ , 而其中又以小于  $10 \mu\text{m}$  的细粒金矿物的占大多数, 约占 81.5%。
- 4、金矿物的形态主要有规则和不规则两种形态, 不规则状则是主要呈他形粒状、枝状、片状、港湾状及裂隙填充等形态, 是该区内金矿物的最常见的形态。
- 5、大西沟金矿中存在包裹金、裂隙金、晶隙金三种赋存形式。主要是以包裹金的形式存在, 约占 71.5%, 晶隙金次之, 占总数的 16.7%, 裂隙金最少, 只有 11.8%。
- 6、黄铁矿是大西沟金矿最主要的载金矿物, 成矿热液时期各世代黄铁矿具有不同的形态、共生矿物、产出特征以及含金性。

## 5 流体包裹体研究

流体包裹体是现今条件下可获得的有关成矿流体的保存最完整的原始样品之一，它保存了大量的成矿信息。近些年来，矿床学中对矿物包裹体的研究已经成为查明成矿的过程中成矿流体来源、成分、成矿 T-P 条件、成矿深度等成矿物理化学条件的基本方法和途径。对矿床成矿流体的演化过程的研究是深入探索该矿床的成因以及其成矿机制的一个重要依据，而对不同世代及不同深度的包裹体的研究正是研究流体演化的最直接有效的手段。同样在金矿床的研究中，流体包裹体的研究对了解金的搬运形式及沉淀的物化条件都有着重要意义。

为了系统研究大西沟金矿床的流体的演化特征，并进一步探讨矿床的成矿过程，本次试验采集不同矿体的各类矿石、蚀变岩、石英脉等数十块样品，经过观察对比，挑选出具有代表性的不同成矿阶段形成的岩石进行包裹体试验，见表 5-1。将这些岩石样品打磨制成包裹体片，在进行了详细的岩相学观察之后，利用冷热测温台对标志性的、观察难度较小的包裹体样品进行了显微测温工作。

表 5-1 大西沟金矿流体包裹体试验样品

序号	样品编号	成矿阶段	采样地点	野外定名
1	BK-38	II	金山一号二水平 3 号穿	石英脉型矿石
2	Bk-03	III	金山一号竖井五中段北，5#穿，沿脉（矿体）	石英脉（矿体）
3	BK-32	III	金山五号 2 中段 Y52053 点	石英脉
4	Bk-61	I	金山一号二水平二号穿（采场）（竖井）	蚀变斑状花岗岩夹石英脉
5	Bk-64	II	金山一号一水平南大巷采场（竖井）	石英脉
6	Bk-02	III	金山一号竖井五中段北，5#穿，沿脉（矿体）	蚀变花岗岩
7	BK-18	II	金山五号 6 中段 C606 右 6m1 号天井	蚀变花岗岩
8	BK-69	II	二道沟采场 3 水平东大巷	矿体（高品位），蚀变花岗岩岩
9	BK-55	I	金山一号四水平 406 采场 10 号（斜井）	硅钾化矿石

## 5.1 流体包裹体的岩相学特征

### 5.1.1 寄主矿物

石英是大西沟金矿床流体包裹体的最主要的寄主矿物，石英在矿脉中的表现多样，包括早期的乳白色细粒石英大脉、主成矿阶段的金属硫化物-石英脉、梳妆石英脉、细粒状石英，晚期的石英、微细脉石英等；除石英外方解石也是该矿床包裹体的主要寄主矿物。但由于方解石本身解理发育，转动物台时会导致包裹体的轮廓线发生变化，并且较石英相比方解石中的包裹体并不发育，个体也相对较小，这些因素都会影响实验进行，所以本次试验选取石英中的包裹体进行研究。

### 5.1.2 包裹体大小、形状和颜色

(1) 大小：大西沟金矿床石英中包裹体的个体大小不一，从  $3\mu\text{m}$  到  $12\mu\text{m}$ ，但相对较小，其中大多数包裹体大小集中在  $3\mu\text{m}$  到  $7\mu\text{m}$  区间之内。

(2) 形状：试验中观察到了多种多样的形态的包裹体，其中有枝状、勺形、三角形等不规则的形状，也有呈近圆形、椭圆等规则形状。

(3) 颜色：大多数石英中的包裹体都是无色透明的。但含有气泡的两相包裹体有时中心气泡会出现其他的色调，这种现象一般是由于包裹体和包体片的表面之间不平行以及光线的问题造成的。

### 5.1.3 包裹体的丰度和分布

通常在矿物生长的不同时期包裹体的丰度是有所差别的，本区中早期生长的石英中包裹体的丰度相对较高，晚期生长的石英中丰度则有所降低。矿石、蚀变岩内石英的包裹体较多，其中既有呈孤立状或者星散状随机分布的原生包裹体，也有次生包裹体沿裂隙分布，而方解石中的包裹体则相对较少。

分布特征：包裹体主要沿寄主矿物石英的生长晶面分布，分布较规则。有时一些形态各异、大小不同的成群分布的包裹体，常常具有相同的长轴方向。

大西沟金矿床中流体包裹体发育，在矿区内各种矿石及蚀变岩中的石英中均有发现。但在不同的岩石样品中的包裹体的丰度及分布都有着很大的差别(见表 5-2)。

5-2 大西沟金矿流体包裹体岩相学特征

样品 编号	岩性	成矿 阶段	包裹体 类型	包裹体 形态	包裹体 特征
BK-38	石英脉型矿石	II	原生	不规则	较多，气液两相为主，相比15%-40%，最大 $10\mu\text{m}$
Bk-03	石英脉（矿体）	III	原生	不规则	较多，气液两相为主，相比15%-30%，最大 $13\mu\text{m}$
BK-32	石英脉	III	原生	规则	丰富，气液两相为主，相比15%-30%，最大 $9\mu\text{m}$
Bk-61	蚀变斑状花岗岩夹 石英脉	I	原生	不规则	较多，气液两相为主，相比15%-40%，最大为 $10\mu\text{m}$
Bk-64	石英脉	II	原生	规则	丰富，气液两相为主，相比15%-30%，最大为 $8\mu\text{m}$
Bk-02	蚀变花岗岩	III	原生	规则	较多，气液两相为主，相比15%-40%，最大为 $10\mu\text{m}$
BK-18	蚀变花岗岩	II	原生	规则	较多，气液两相为主，相比15%-30%，最大为 $6\mu\text{m}$
BK-69	矿体（高品位），蚀 变花岗岩岩	II	原生	规则	较多，气液两相为主，相比15%-30%，最大 $6\mu\text{m}$
BK-55	硅钾化矿石	I	原生	规则	较多，气液两相为主，相比20%-40%，最大 $10\mu\text{m}$

#### 5.1.4 包裹体的相态组成、分类

本次试验采集的样品中观察到的单一相态的包裹体（纯气相或纯液相）、两个相态的包裹体大西沟金矿中最常见的两种类型的包裹体。特征如下：

（1）单一相包裹体（I型），根据包裹体相态可将本矿区的包裹进一步划分为纯气相包裹体和纯液相包裹体两种，现分别简介如下：

a. 纯气相包裹体（V型，图 5-1(b)）：这种包裹体一般发育的较少，并不多见。室温下包裹体颜色较暗，气体充满整个包裹体，这种气相包裹体的中心一般微亮透光。形态一般为椭圆形或不规则多边形等，大小一般在  $2\sim 8\mu\text{m}$  范围内。该类型的包裹体仅占全部包裹体的 10% 左右。

b. 纯液相包裹体（L型，图 5-1(a)）：包裹体的液相的成分可能是水、液态  $\text{CO}_2$  或者盐水溶液等，一般都是无色透明的。包裹体形态一般以椭圆、圆形为主，大小在  $2\sim 6\mu\text{m}$  范围内。由单一的液相组成，占全部包裹体的 30% 左右。

（2）两相包裹体（L-V型，图 5-1(a、b)），即气相和液相共存的一类包裹体。在这类包裹体中，中心的呈圆形或椭圆形的气泡就是气相，它与包裹在它

周围液相以一条均匀的黑色圆圈为界，只有当包裹体的气泡与包裹体切面方向呈垂直关系时，两者之间的界线才是清晰而且细的，而这条边界在当包裹体的气泡与包裹体切面处于非垂直的情况下观察到时都是相对较粗的。在一些小的包裹体中发现的不停跳动的黑点也是气相。

我们将两相包裹体根据其中气相和液相的相对大小，将其再划分为以下的两种类型：

气体包裹体（II-g 型），即两相包裹体中气体的填充度大于 50%；

液体包裹体（II-l 型），即两相包裹体中气体的填充度不足 50%。

大西沟金矿的两相包裹体气液比偏低，一般在 10%–50%，多数集中在 10%–30% 之间，属 II-l 型两相包裹体。包裹体形态大多以椭圆形、菱形或勺形、长条形等不规则形为主，大小一般在  $4\text{--}14\text{ }\mu\text{m}$ ，多数在  $3\text{--}7\text{ }\mu\text{m}$  之间。在大西沟金矿床中，这类的包裹体占据主导地位，约占全部包裹体的 60% 左右。

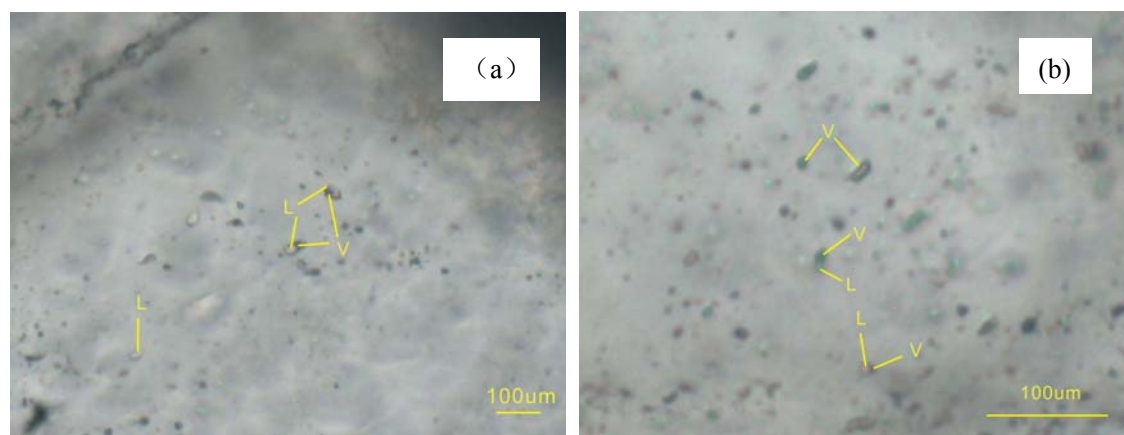


图 5-1 大西沟金矿中主要包裹体类型

（a、石英中 L-V 型、L 型包裹体；b、石英中 V 型、L-V 包裹体）

### 5.1.5 包裹体成因分类

本次试验观察到的大西沟金矿石英中的包裹体类型有原生、次生和假次生包裹体。假次生包裹体不多见，次生包裹体研究意义不大，故本次主要的观察实验对象为原生包裹体。

原生包裹体：这种原生包裹体一部分随机分布、形状规则、个体较大；也有一些虽与裂隙无关但仍成群分布、与矿物结晶方向及生长换代有关的包裹体



也属于此类型。在本次试验的发现了较多的原生包裹体，多数情况下都选择这种原生的包裹体进行显微测温试验。

次生包裹体：这类包裹体一般都是成群分布在寄主矿物的裂隙中，无论是形态特征还是填充程度都十分相似。次生包裹体体中包含了寄主矿物形成后的流体信息。

假次生包裹体：这种包裹体与次生包裹体相似，一般都是分布裂隙之中，故很容易将其误认为次生包裹体，但其实假次生包裹体与原生包裹体的成分是一样的。这种假次生包裹体是主矿物在生长的过程中同时形成的。

## 5.2 流体包裹体测温学

### 5.2.1 测试条件

本次包裹体的岩相学观察与测温工作都是是在中国地质大学（北京）流体包裹实验室完成，该实验室属于“地质过程与矿产资源”国家重点实验室。实验所使用仪器 Linkam THM600 冷热台，仪器为英国生产。该仪器的使用温度范围为 $-196^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，在 $-196^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 时，精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，在 $0^{\circ}\text{C}\sim 600$ 精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。进行包裹体测温实验前可预先设定升降温的速率，同时实验进行过程也可根据情况随时改变。

### 5.2.2 均一法测温

流体包裹体在温度发生变化时相态也会发生改变，这是运用均一法测温的一个关键所在，我们的包裹体测试工作就是记录包裹体在相态发生变化的几个关键温度。例如，在对两相包裹体进行测温试验时，我们所要记录的均一温度就是两相变为一相那一瞬间的温度。对于富液相的包裹体来说，在升温过程中，气泡不断跳动并逐渐减小变为一个小黑点，直至最后完全消失，包裹体此时会均一为液相，这个点上的温度就是我们所要测试的完全均一温度（ $T_h$ ）；而对于富相气的包裹体在升温至全部液化的过程是与富液相包裹体的现象相反的，在均一过程中包裹体内气泡的体积会慢慢变大，直到最后全部液化，而这一瞬间记录的温度即为均一温度（ $T_h$ ）。富相气的包裹体升温时气泡有时会出现先变小后变大的情况，这时均一温度（ $T_h$ ）是气泡变大过程中至到完全填充整个包

裹体时的温度。

表 5-3 大西沟金矿各阶段包裹体均一温度、冰点及有关数据参数表

成矿阶段/寄主矿物	包裹体类型	均一温度 ℃		冰点 ℃		盐度 Wt%		密度 g/cm <sup>3</sup>	
		范围 (测定数)	均值	范围 (测定数)	均值	范围 (测定数)	均值	范围 (测定数)	均值
I /石英	L-V	262~413 (20)	332	-2.8~-7.7	-5.7	4.6~11.9 (20)	8.78	0.66~0.83 (19)	0.75
II /石英	L-V	211~365 (60)	267	-1.3~-6.3	-3.4	2.2~9.6 (51)	5.57	0.64~0.92 (47)	0.77
III/石英	L-V	162~401 (48)	246	-0.8~-6.9	-3.4	1.4~10.4 (36)	5.51	0.75~0.92 (36)	0.86

将实验测得数据统计处理，得到图 5-2。

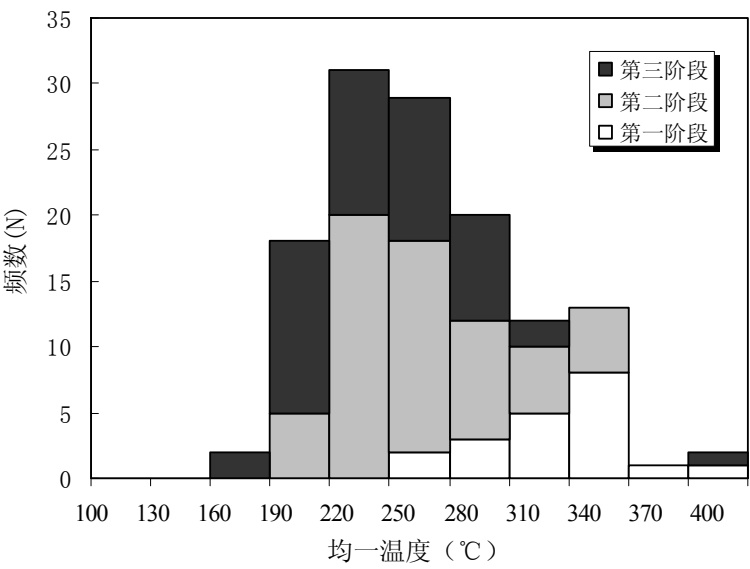


图 5-2 大西沟金矿均一温度直方图

从图 5-2 可以看出，成矿第一阶段的温度主要分布在 262~413℃，平均为 332℃；第二阶段主要分布在 211~365℃，平均为 267℃；第三阶段主要分布在 162~401℃，平均为 246℃。在成矿作用进行的过程中，流体包裹体的均一温度从成矿第一阶段至成矿的第三阶段，明显呈逐渐降低的趋势。第二、三阶段

为大西沟金矿的主要成矿时期，温度主要分布范围为 190~310℃，故该矿床的成矿温度为中低温。

### 5.2.3 盐度

包裹体内成矿溶液的浓度（或盐度）的研究，对于探讨成矿溶液的性质以及它与成矿的关系，在低温的条件时冰水化合物的相态平衡，共结温度，成矿机制及地球化学找矿等方面均有重要的作用。冷冻法是研究包裹体盐度的基本方法之一，它是在打不开包裹体的情况下通过测定冰点法进行的。

本次试验测试的包裹体多为两相 L-V 型包裹体，利用盐度计算公式（卢焕章等，2004）：

$$S=0.00+1.78t-0.0442t^2+0.000557t^3 \quad (0\sim23.3\% \text{ 的 NaCl 溶液})$$

(公式 5.1)

公式 5.1 中：t 为冰点降低的温度（℃），S 为盐度（wt%NaCleqv）。

通过上述公式计算获得大西沟金矿的两相 L-V 型包裹体的盐度分布介于 1.4~11.9%（表 5-3），三个成矿阶段平均盐度分别为 8.78%，5.57%，5.51%，随着成矿作用的进行，流体盐度呈现逐渐降低的趋势。二、三主要成矿阶段的盐度主要集中在 2~10 wt%之间（图 5-3），总体表现为低盐度流体。

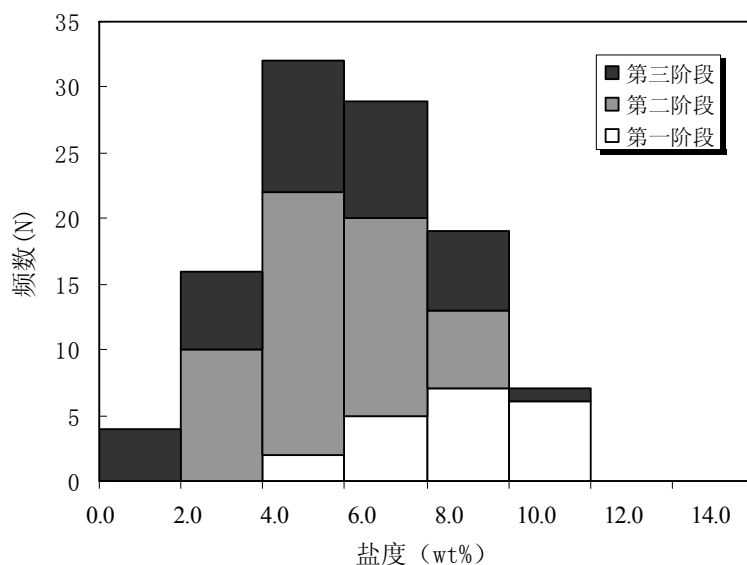


图 5-3 大西沟金矿各阶段盐度直方图

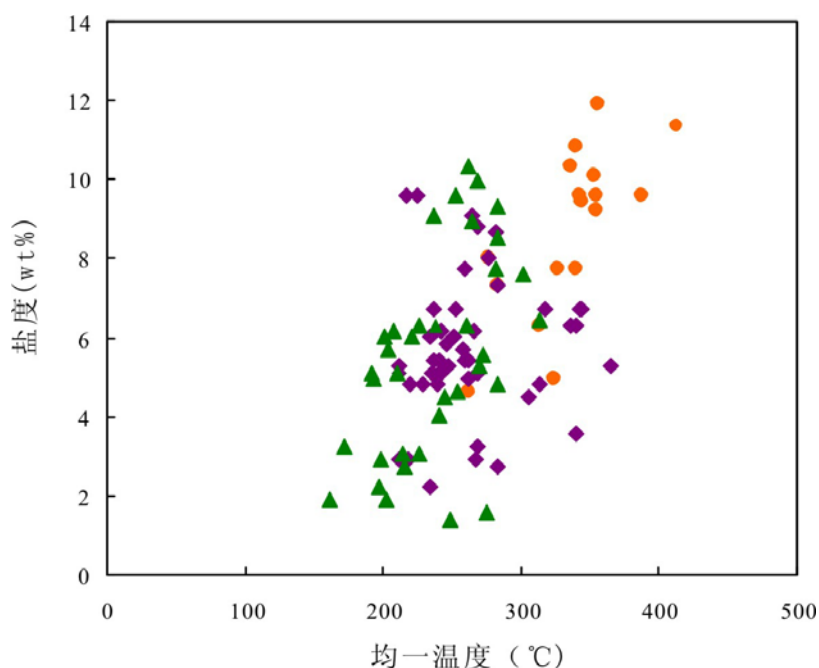


图 5-4 大西沟流体包裹体均一温度和盐度相关关系图

从图 5-4 可以看出，成矿作用过程中的温度是逐渐降低的，并且随着温度的降低，各成矿阶段的流体盐度也呈现了逐渐降低的趋势。但也有一些不太规律的数据，盐度过高或者稍低，可能是由于此处有多种性质的流体的混入导致出现流体盐度异常。

#### 5.2.4 密度

根据包裹体的盐度和均一温度，利用刘斌等（1995）计算流体密度公式：

$$\text{密度: } \rho = A + Bt + Ct^2 \quad (\text{公式 5.2})$$

式中： $\rho$  为盐水溶液密度 ( $\text{g/cm}^3$ )， $t$  为均一温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。A、B、C 为盐度的函数

$$A = 0.993531 + 8.72147/1000 \times s - 2.43975 \times 10^{-5} \times s^2,$$

$$B = 7.11652 \times 10^{-5} - 5.2208 \times 10^{-5} \times s + 1.26656 \times 10^{-6} \times s^2,$$

$$C = -3.4997 \times 10^{-6} + 2.12124 \times 10^{-7} \times s - 4.52318 \times 10^{-9} \times s^2$$

计算得出流体的各成矿阶段的密度在  $0.64 \sim 0.92 \text{ g/cm}^3$  (表 5-3)，整体属于低密度流体。三个成矿阶段的流体密度平均值分别为  $0.75 \text{ g/cm}^3$ 、 $0.77 \text{ g/cm}^3$ 、 $0.86 \text{ g/cm}^3$ ，成矿流体的密度随着成矿作用由第一阶段向第三阶段进行过程中，呈明显的逐渐增大的趋势。

### 5.2.5 成矿压力与深度

本次试验采用以下经验公式(邵洁涟, 1986)计算了大西沟金矿的成矿压力:

$$P_1 = P_0 \times T_1 / T_0 \quad (\text{公式 5.3})$$

$$P_0 = 219 + 2620 \times W, \quad T_0 = 374 + 920 \times W$$

式中  $W$  为盐度,  $T_0$ 、 $T_1$  为分别为初始温度和成矿温度(不混溶包裹体均一温度近似等于此温度),  $P_0$ 、 $P$  分别为初始压力、成矿压力。

由上述公式计算出大西沟金矿的流体成矿压力范围为 11.3~44.6MPa (图 5-5), 主要集中在 11.3~31.2MPa 之间, 平均为 23.83MPa。三个成矿阶段的平均压力分别为 32.93 MPa、22.76MPa、20.45MPa, 随着成矿作用的进行, 成矿压力呈现出主将降低的趋势。成矿深度在 0.37~1.49km 范围内, 平均为 0.79km。

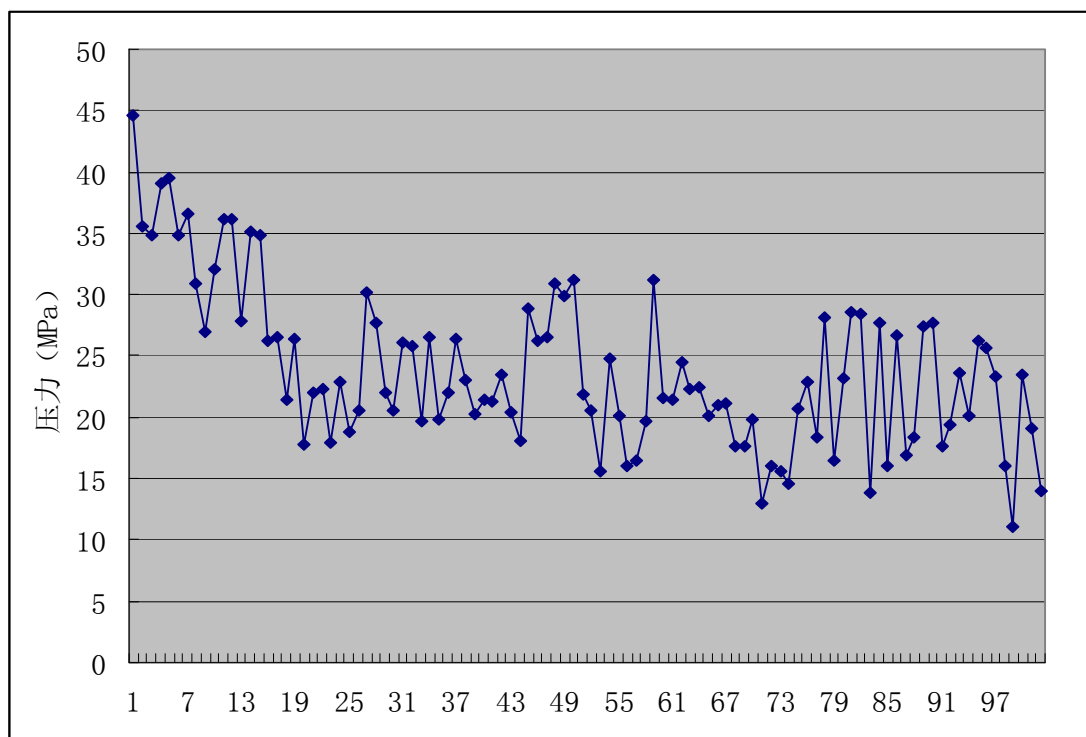


图 5-5 大西沟金矿成矿流体压力变化曲线图

## 6 同位素地球化学

### 6.1 氢氧同位素学

#### 6.1.1 实验过程和计算方法

本次的氢氧同位素测试是在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成，所用的质谱仪型号为 MAT-253。氢氧同位素样品制备的过程分别如下：

流体包裹体中水的氢同位素：制取挑选纯净的石英单矿物，在不超过 105℃ 的条件下将其烘干，之后通过逐渐加热将里面的次生包裹体水抽走（这一过程必须在真空的环境下进行），继续加热当温度高于 600℃ 之后石英单矿物中的包裹体会发生热爆，以上过程要求必须在真空的环境下进行。为了使收集到的水更单纯，还要经过一系列的处理，如纯化处理等，处理之后才能用锌来置换符合要求的水中的  $H_2$ ，最后对获得的  $H_2$  进行质谱分析。

石英的氧同位素：将石英单矿物与  $BrF_5$  试剂进行长时间的反应，在经过十五个小时之后可得到  $O_2$ ，要保证反应过程中温度在 500~550℃ 之间。用液氮对得到  $O_2$  进行纯化处理之后，需要将  $O_2$  转化为  $CO_2$ ，这一过程要求温度在 700℃ 的条件下进行，最后得到的  $CO_2$  可用于质谱分析。

流体包裹体氧同位素是根据寄主矿物石英的氧同位素，利用石英--水之间的氧同位素平衡分馏方程  $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ （Clayton 等，1972）（公式 6-1），计算从而得到与石英达到分馏平衡的流体  $\delta^{18}O_{\text{水}}$  值。

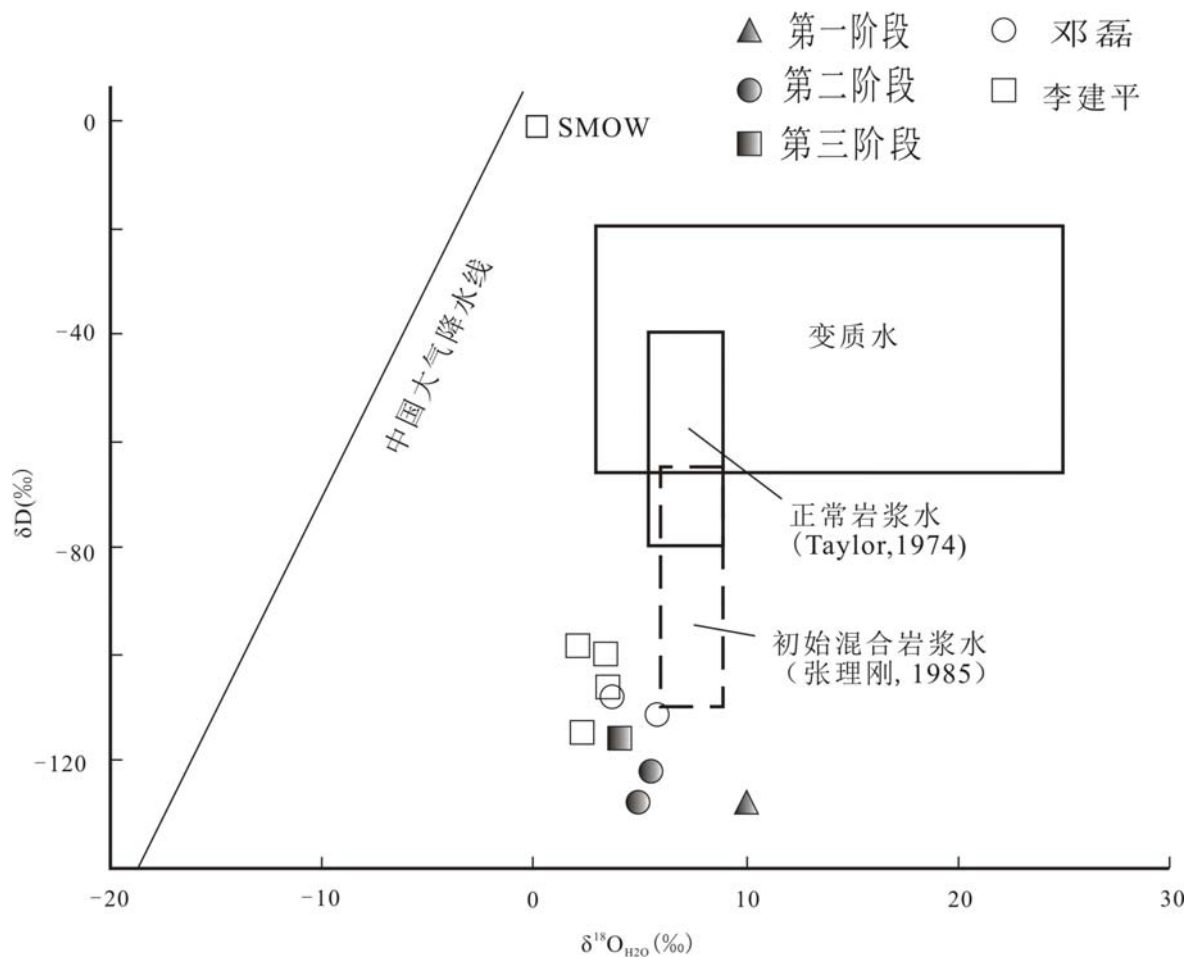
#### 6.1.2 氢氧同位素特征及其意义

本次实验挑选了四件大西沟金矿床主要成矿阶段的代表型样品并对其进行了氢氧同位素分析，结果列于表 6-1。

从表 6-1 可以看出，大西沟金矿成矿石英的  $\delta^{18}O$  值 I 阶段 16.3‰，II 阶段平均为 13.9‰，III 阶段为 13.7‰，变化范围在 13.6~14.7‰，平均值为 14.45‰。根据流体包裹体测试出的各阶段成矿的均一温度，并根据公式 6-1 计算得出，三个阶段包裹体内  $\delta^{18}O_{H_2O}$  分别为 10.0‰，5.2‰，4.1‰，范围在 4.1~10.0‰，平均为 6.02‰。

表 6-1 大西沟金矿包裹体的 D-O 同位素分析结果 (‰SMOW 标准)

样品号	矿物	阶段	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Q-SMOW}}\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O-SMOW}}\text{‰}$	$\delta \text{D}_{\text{V-SMOW}}\text{‰}$	t(°C)	资料来源
BK-02	石英	II	14.2	5.5	-117.4	267	本 文
BK-29	石英	III	13.7	4.1	-109.4	246	
BK-61	石英	II	13.6	4.9	-124.9	267	
BK-69	石英	I	16.3	10.0	-110.9	332	
BJ2-2	石英	—	13.83	5.8	-103.67	—	邓磊
BD2-4	石英	—	11.73	3.7	-99.36	—	2007 年
D-1-7	石英	—	11.83	3.5	-97	—	李建平
P2-2	石英	—	10.63	2.3	-108	—	2006 年
P2-8	石英	—	10.43	2.1	-87	—	
Z-N402	石英	—	10.73	3.4	-89	—	

图 6-1 石英中流体的  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta \text{D}$  图解



将本次实验结果及邓磊（2007 年）、李建平（2006 年）测得的大西沟金矿  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $\delta\text{D}$  投影在  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  关系图上（图 6-1）。由图 6-1 可以看出，样品分布于岩浆水和大气降水之间，更接近于岩浆水，三个主要成矿阶段的投点随着热液成矿作用的进行，向大气降水的方向逐渐靠近。这也说明在热液成矿作用的最初阶段主要是岩浆水参与金的成矿作用，而随着时间推进在，在成矿作用进行到第二、三阶段是有开始大气降水加入到热液中。因此，我们推断大西沟金矿的成矿流体应为大气降水和岩浆水的混合产物，并且在成矿的早期应该是以岩浆水为主。

## 7 矿床成因探讨

### 7.1 成矿条件

#### 7.1.1 成矿流体的性质

经过第五章的研究分析可知，大西沟金矿的流体包裹体有以下的特征：

均一温度：主成矿阶段的温度主要分布范围为 190~310℃，故该矿床的成矿温度为中低温热液矿床。

成矿流体盐度和密度：主要成矿阶段的盐度主要集中在 2~8 wt% 之间，总体表现为低盐度流体。各成矿阶段的密度在 0.64~0.92g/cm<sup>3</sup> 这一范围之内，应属于低密度流体。

成矿压力：主要集中在 11.3~31.2MPa 之间，平均为 23.83MPa。深度在 0.37~1.49km 范围内，平均为 0.79km。

### 7.2 成矿流体来源

据 Turret 等（1981）的研究表明，从中级变质岩到高级变质岩，会使变质流体的成分发生很大的变化，主要表现为从以 H<sub>2</sub>O 为主的流体逐渐转变为以 CO<sub>2</sub> 为主的流体。大西沟金矿所在区域属于高级变质岩区，假设大西沟金矿的成矿热液是来自于变质热液，矿物中的包裹体应该含有较多的 CO<sub>2</sub> 包裹体。但从前面的流体包裹体岩相学观察结果来看，本矿区石英中的包裹体主要以气液两相富水包裹体为主，未见 CO<sub>2</sub> 和其他类型的包裹体。因此推断大西沟金矿不应是在结晶基底阶段形成。

从前述的流体氢、氧同位素特征来看，大西沟金矿的流体在成矿的早期应以岩浆水为主，随着成矿作用的进行，同时混入了一部分的大气降水。这也正好说明了本矿区的流体中低温及低盐度的特征。分析大西沟金矿的矿体形成时间与这一区域内各类岩浆岩的活动时间之间的关系，我们可以推测出燕山晚期的岩浆活动应该是大西沟金矿的主要成矿流体来源。在成矿作用进行到后期时，由于构造裂隙的存在，是大气降水渗入，与岩浆水发生了混合作用。

### 7.3 成矿时间

由于缺少同位素年龄数据,暂时不能得到大西沟金矿准确的成矿时代,只能从相关的地质资料对该矿床的成矿年代进行推测。

从前述的金矿的成色分析,我们已初步推断大西沟金矿的成矿时代应在中生代。中生代燕山期的岩浆旋回活动与本区的成矿活动有着密切的联系。大西沟金矿的矿体虽然产于太古代的斑状杂岩体中,但从该矿区的矿体的产状来看,它严格受燕山晚期形成的北东向断裂控制;另一方面从构造和岩体的切割关系,与矿体关系密切的 F1 (图 3-1) 断层切割了燕山期的花岗岩。燕山岩浆活动的发生最初发展阶段年龄为 145.4~175.09Ma<sup>[48]</sup>,在燕山期高潮阶段形成的花岗斑岩、钾长花岗岩、二长斑岩的年龄值为 125.5Ma<sup>[48]</sup>,在 III 幕衰退阶段形成的石英正长斑岩、正长斑岩、钾长花岗岩、碱性花岗岩的年龄值为 108~112.08Ma<sup>[48]</sup>。因此,可以认为该矿床矿体的形成时间应该是在燕山晚期花岗岩侵入之后,初步判断应在 108~125Ma 之间,属于燕山晚期成矿。

### 7.4 成矿模式

综合以上分析,大西沟金矿床的成矿模式可以简述如下:

在燕山时期大西沟矿区所在区域发生了大规模的剧烈的构造岩浆运动,构造运动散发的大量能量致使位于地壳深部的斑状混合岩活化,这些活化的斑状混合岩经过部分熔融作用最终会分异出来酸性以及中酸性的岩浆,而这些岩浆中含有丰富的成矿元素,最初的斑状混合岩则变成了地壳重熔花岗岩,分异出的含有成矿元素的岩浆则沿各个断裂由地壳逐渐向浅部的地表运移。燕山运动晚期,整个冀北地区的地壳处于大规模的伸展状态,形成了一系列的 NNE—NE 向的断层。燕山晚期形成的花岗质岩浆,富含金银等成矿元素,岩浆沿着这些断裂上侵,从而形成浅成侵入体或火山机构,沿构造薄弱部位形成了广泛分布的花岗岩 ( $\gamma 5^{(3)}$ ) 系列,喷出地表的则形成陆相火山岩 ( $J_3$ )。在此之后又发生了一些次级构造运动,规模相对之前的岩浆构造运动要小很多。伴随着这次小规模构造运动该地区又有各种次火山岩侵入。

伴随着燕山期斑状花岗岩发生了强烈的分异结晶作用,含有大量 Au、Ag

等成矿元素的热水溶液也在此后形成，这些热水溶液为该区域内的矿体形成提供了物质来源，而燕山后期形成的各种小型构造则为热液的运移提供了场所。在热液运移的过程中由于温度较高可萃取周围斑状花岗岩中的 Au、Ag 等元素，使这些成矿元素更加的富集，与此同时围岩中受到因热水溶液的作用而发生蚀变，成矿物质也随之发生沉淀作用，从而形成了矿体。在热水溶液沿小型构造运移活动的后期，贯穿地表的一些构造裂隙会有一定量的大气降水渗入，从次热水溶液中开始混入大气降水，这也致使成矿流体呈现出了中低温、中低盐度的特点。

综合上述,大西沟金矿床为中低温浅成热液变质蚀变岩型金矿床。

## 8 结论

本文在阅读区域成矿地质背景资料的基础之上,通过野外考察,对大西沟金矿的地质特征进行了总结,并通过对大西沟金矿的金赋存状态及流体包裹体研究,得出如下结论:

1、大西沟金矿的金矿物主要为自然金和银金矿,成色变化范围较大,为 639~880,平均 809,普遍位于 750~880 这一区间;金矿物的粒径范围在 2-40  $\mu\text{m}$ ,小于 10  $\mu\text{m}$  的细粒金矿物的占大多数,约占 81.5%;形态主要有规则和不规则两种形态,不规则状则是主要呈他形粒状、枝状、片状、港湾状及裂隙填充等形态,是该矿区内金矿物的最常见的形态;金的赋存形式有包裹金、裂隙金、晶隙金三种,主要是以包裹金的形式存在,约占 71.5%,晶隙金次之,占总数的 16.7%,裂隙金最少,只有 11.8%。

2、主要的载金矿物为石英和黄铁矿。成矿热液时期各世代黄铁矿具有不同的形态、共生矿物、产出特征以及含金性。石英-黄铁矿-自然金组合是大西沟金矿含金的标志;而石英-黄铁矿-方铅矿-黄铜矿-自然金,特别是这种组合中含有细粒网脉状黄铁矿分布时,一般就是富金的标志;石英-黄铁矿-碳酸盐组合则是贫金和无金的标志。

3、大西沟金矿石英中的包裹体主要为气液两相,气液比多在 10%~30 范围内;相对较小,其中绝大部分在 4  $\mu\text{m}$  到 8  $\mu\text{m}$  这一范围内;形态主要以似圆形、椭圆形、长条状、三角形、勺形等为主。

4、大西沟金矿的主成矿阶段的温度主要分布范围为 190~310 $^{\circ}\text{C}$ ;主要成矿阶段成矿压力主要集中在 11.3~31.2MPa 之间,平均为 23.83MPa。该矿区成矿流体具有中低温、低盐度以及低密度的特征。深度在 0.37~1.49km 范围内,平均为 0.79km,属于浅成成矿环境。

5、石英的  $\delta^{18}\text{O}$  值变化范围在 13.6~14.7‰,平均值为 14.45‰。石英包裹体内  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  范围在 4.1~10.0‰,平均为 6.02‰。表明大西沟金矿的成矿流体具有岩浆水与大气降水混合的特征。成矿作用的最初阶段,成矿流体主要以岩浆水为主,而随着成矿作用的逐渐进行,在成矿的后期不断有大气降水的混入。

6、推测大西沟金矿时间为燕山晚期。

## 致 谢

本次论文是在导师王建国教授的悉心指导和帮助下完成的。2009年6月份，作为一名大三的学生我有幸加入王老师的团队，参与野外实践、学习，并在王老师的指导之下完成本科毕业论文顺利进入研究生阶段的学习。随后三年的研究生学习和生活中，王老师同样给予我最无私的指导和帮助，使我在学习能力和业务水平上都有飞速的提高。在收获了知识的同时，在王老师这里学到的做人的道理更是我一生最珍贵的财富。王老师广博的知识、严谨的治学态度、求真务实的学风以及对学生的严格要求等方面都使我受益非浅，并且一直不断地激励着我。在此我要向导师致以诚挚的谢意！

在河北丰宁大西沟金矿实习期间，得到了金龙集团邹占军总经理等在工作 and 生活中给予的支持和帮助，在这里表示衷心感谢。

感谢刘丽老师在流体包裹体测温实验过程中给予的细心指导和帮助。感谢中国地质大学（北京）电子探针实验室尹京武老师在实验过程耐心的指导与帮助。

感谢一起在野外工作的李佩强、周传芳、牛仲行、张黎，在一个月的实习中，彼此帮助和支持，才得以顺利完成了野外工作。

感谢王圣文、刘彦兵、孙立博等各位师兄在我研究生学习中的帮助，感谢同门翁立猛、廉康、李佩强和姜丽莉，三年的研究生生活中，我们交流学习，互相帮助，收获良多。在编写此次论文过程中，各位同门给予的帮助再次一并感谢。

感谢我最亲爱的朋友们，潘莹露、刘瑞萍、陈越、孟繁一、张爱萍、付强，在我的大学时光中带给我最珍贵的友谊与最无私的帮助。

最后要感谢含辛茹苦养育我的父母、我的哥哥、妹妹，他们在生活和精神上的支持，是我坚持的动力！

## 参考文献

- 【1】应育浦.略论金的赋存状态.成矿理论, 1992, 4:14~15.
- 【2】马建秦, 李朝阳, 温汉捷.不可见金赋存状态研究现状.矿物学报, 1999, 19 (3) :335~342.
- 【3】王奎仁.中国几个典型卡林型金矿床金的赋存状态研究.合肥: 中国科技大学出版社. 1994.
- 【4】王奎仁, 周有勤.微束分析对微细粒金赋存状态的研究.矿物岩石地球化学通讯, 1991, 4: 251~253.
- 【5】钱定福, 李玉衡, 李志生, 孙红惠.金牙金矿床金的赋存状态研究.地质评论, 1988, 34 (4): 361~368.
- 【6】郑存江, 熊英, 胡建平.理化实验-物理分册, 2006, 42 (6) :184~186.
- 【7】B. N. 沃依策霍夫斯基等.毒砂和黄铁矿中不可见金的赋存状态问题(罗贤昌译).金银矿产选集(第五集), 1987.
- 【8】贾建业, 袁守峰, 吴建设, 高进龙等.黄铁矿中金的赋存状态和存在形式研究.西北地质, 1996, 17(3):27~31.
- 【9】张振儒, 杨思学, 易闻.某些矿物中次显微金及晶格金的研究.地质找矿从论. 1987, 2(4):70~76.
- 【10】易闻, 张振儒, 蔡秀成.晶格金的电子顺磁共振研究.湖南地质, 1986, 5 (1) :72~76.
- 【11】姚敬勋.金的赋存状态及其有关的若干问题.地质与勘探, 1978.
- 【12】叶先贤, 万光权, 孙振亚等.黔西南卡林一型金矿中超微金的微束分析研究.中国科学 (B 辑), 1994, 24 (8): 884~889.
- 【13】池国祥, 赖健清.流体包裹体在矿床研究中的作用.矿床地质, 2009, 28 (6): :850~885.
- 【14】芮宗瑶, 李荫清, 王龙生, 王义天.从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件.矿床地质, 2003, 22 (1) :13~23.
- 【15】卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮.流体包裹体.北京: 科学出版社, 2004.
- 【16】卢焕章.包裹体地球化学, 1990.
- 【17】芮宗瑶.流体包裹体在岩石学和矿床学中的应用.北京: 地质出版社, 1986.
- 【18】芮宗瑶, 李荫清, 王龙生, 王义天.初论成矿流体及金属矿物富集系统.矿床地质, 2002, 21 (1): 83~89.
- 【19】姚敬勋.1985. 矿石中金的赋存状态的分类鉴别及相互关系.黄金, 3:26~32.
- 【20】孙振亚, 叶先贤, 孙振亚, 叶先贤.用 AEM 与 EPMA 联合分析超显微金.科学通报, 1993, 38 (9) :803~806.
- 【21】刘玖芬, 汤中立, 刘晓煌, 刘春秀等.黄铁矿中不同赋存状态金的测试及意义——以胶莱盆地金矿中黄铁矿为例.地质与勘探, 2011, 47 (5): 823~827.
- 【22】刘显凡, 金景福, 倪师军, 卢秋霞.微细浸染型金矿原生矿石和氧化矿石中金的赋存状态差异及其原理分析.黄金科学技术, 1997, 5 (1) :22~24.
- 【23】苏欣栋.我国微细浸染型金矿某些载体矿物中金的赋存状态.黄金地质科技, 1991, 4:57~62.
- 【24】孙清钟, 郑远川, 李为, 黄克贤.西藏邦布造山型金矿金的赋存状态研究.东华理



- 工大学学报(自然科学版), 2012, 35(2):136~142.
- 【25】刘新会, 刘光智, 王淑娟, 刘民武. 甘肃岷县寨上特大型金矿次显微金的赋存状态研究. 西北地质, 2009, 42(3):47~55.
- 【26】李晶, 陈衍景, 李强之等. 甘肃阳山金矿碳氢氧同位素与成矿流体来源. 岩石学报, 2008, 24(4):817~826.
- 【27】郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学. 科学出版社, 2000:143~186.
- 【28】侯明兰, 蒋少涌, 沈昆, 连国建等. 胶东蓬莱金矿区流体包裹体和氢氧同位素地球化学研究. 岩石学报, 2007, 23(9):2243~2256.
- 【29】胡斌, 刘娅莎, 蒋振华. 与韧性剪切带有关的金矿床成矿物质来源探讨. 西部探矿工程, 2011, 7:103~105.
- 【30】赵海玲, 邓晋福, 狄永军等. 河北峪耳崖金矿矿床成因及成矿模式. 地球科学, 1997, 22(5):275~278.
- 【31】罗镇宽, 苗来成, 关康. 华北地台北缘金矿床成矿时代讨论. 黄金地质, 2000, 6(2):70~76.
- 【32】严寿民. 华北地台北缘浅成热液金矿的地球物理特征. 地球物理学进展, 1998, 13(1):17~26.
- 【33】邹为雷, 李光明, 张连昌. 胶东大庄子构造角砾岩型金矿床地质地球化学特征及成矿流体来源探讨. 矿床地质, 2010, 29(3):541~549.
- 【34】李胜荣, 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东乳山金矿黄铁矿形态研究. 地质找矿从论, 1994, 9(1):79~85.
- 【35】李宪洲. 平顶山金矿床黄铁矿化学成分特征及其找矿意义. 岩石矿物, 1992, 12(3):80~84.
- 【36】李晶, 陈衍景, 刘迎新. 华北克拉通若干脉状金矿的黄铁矿标型特征与流体成矿过程. 矿物岩石, 2004, 24(3):93~100.
- 【37】陈伟军, 刘红涛, 张德会. 河北丰宁牛圈银矿床流体包裹体特征及地质意义. 矿产与地质, 2007, 21(1):12~16.
- 【38】芮宗瑶, 李荫清, 王龙生, 王义天. 从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件. 矿床地质, 2003, 22(1):13~23.
- 【39】马建秦, 李朝阳, 温汉捷. 不可见金赋存状态研究现状. 矿物学报, 1999, 19(3):335~342.
- 【40】应育浦, 略论金的赋存状态, 黄金科技动态, 1999, 4:14~15.
- 【41】贾建业等. 黄铁矿中金的赋存状态和存在形式研究. 西北地质, 1996, 17(3):27~31.
- 【42】张振儒, 杨思学. 金的成色研究. 地质与勘探, 1986年11月, 22(11):36~37.
- 【43】武兴宇. 陕西小秦岭金矿床中金的赋存状态及分布规律. 有色金属矿产与勘查, 1998, 7(4):222~226.
- 【44】史红云, 银剑钊. 河北张家口金矿黄铁矿的标型特征及其成因意义. 岩石矿物, 1993, 13(3):55~61.
- 【45】贾建业, 吴建设, 袁守峰等. 黄铁矿的一般特征与含金性的关系探讨, 西北地质. 1996年, 17(3):19~26.
- 【46】代军治, 毛景文, 杨富全. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景. 矿床地质, 2006年10月, 25(5):598~611.
- 【47】张德会. 河南西峡石板沟金矿成矿流体地球化学及矿床成因讨论. 现代地质, 1999年6月, 13(2):130~136.

- 【48】河北省地质矿产局. 太阳店、穹窿山、邓家栅子幅 1: 5 万区域地质调查报告. 1988.
- 【49】王明燕, 王建国, 祁小军. 河北大西沟金矿床地质特征及成因探讨. 黄金科学技术, 2008 年 12 月, 16 (6): 27~32.
- 【50】邓磊, 王建国, 王圣文, 曹烨等. 河北丰宁大西沟金矿流体包裹体地球化学研究. 中国地质, 2009 年 2 月, 36 (1): 185~192.
- 【51】董青松. Suepac 在大西沟金矿勘探中的应用. 中国地质大学 (北京). 2008 年. 硕士学位论文.
- 【52】王明燕. 大西沟金矿地质特征及成矿规律研究. 中国地质大学 (北京). 2008 年. 硕士学位论文.
- 【53】李建平. 河北丰宁县大西沟金矿地质地球化学特征及矿床成因探讨. 中国地质大学 (北京). 2006 年. 硕士学位论文.
- 【54】孙莉. 胶东谢家沟金矿床流体包裹体研究. 中国地质大学 (北京). 2006 年. 硕士学位论文.
- 【55】王永生. 甘肃鹰咀山金矿成矿流体特征与矿床成因研究. 中国地质大学 (北京). 2012. 硕士学位论文.
- 【56】薛琮. 胶东新城金矿场成矿流体特征. 中国地质大学 (北京). 2011. 硕士学位论文.
- 【57】Ren, C. G., et al.. A microbeam PIXE observation of the Au-Fe incoherent phenomenon over dimensions of several hundred micrometers, Nuclear Science and Techniques. 1991, 2: 13~18.
- 【58】Wang, K. l. et al.. First discovery of platiniferous Mercury-gold, Mercury-gold and platinum-gold Jinya micrograined gold deposit. Guangxi, Chinese Science Bulletin. 1993, 38: 1906~1910.
- 【59】Wu, X. et al. Conditions of formation of gold-bearing arsenopyrite: a comparison of synthetic crystals with samples from Le chatelet gold deposit, France, Deposita (Suppl.), 1990, 25: 508~512.
- 【60】Laicheng Miao, Yumin Qiu, Neal McNaughton, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of granitoids from Dongping area, Hebei Province, China: constraints on tectonic evolution and geodynamic setting for gold metallogeny. Ore Geology Reviews, 2002, 19 (3-4) 187-204.
- 【61】Derondece J. Round hill shear zone hosted gold deposit, Macracs Flat, Otago, New Zealand: Evidence of amagmatic ore fluid. Economic Geology, 2000, 95: 1025~1048.
- 【62】Zhang Xingchun, Su Wenchao, Xia Yong, et al. A discussion on the relationship between invisible gold and the overpressured fluid of the Carlin - type gold deposits - a case study of the Shuiyingdong gold deposit. Guizhou Geology, 2004, 21 (4): 274 ~275.
- 【63】Goldfarb R J, et al. Tectonic setting of synorogenic gold deposit of the Pacific Rim. Ore Geology Reviews, 1998, 13: 185~218.

## 附录

### 1、 基本情况

于雯雯，女，1986年9月出生，汉族，黑龙江省牡丹江市人。2002年9月至2010年7月在中国地质大学（北京）地球科学与资源学院资源勘查工程（固体矿产）专业学习。2010年9月至今在中国地质大学（北京）进行硕士研究生阶段学习，专业为矿产普查与勘探，指导教师为王建国教授。

### 2、 参与科研项目

2011.10-2012.6 参与《大西沟金矿金的赋存状态研究》课题研究。