

分 类 号: P611.1+1
研究生学号: 2008612053

单位代码: 10183
密 级: 公开



吉 林 大 学

硕士学位论文

黑龙江省金厂金矿床成矿时代及其地球动力学意义
Metallogenic Epoch and Its Geodynamic Significance
of the Jinchang Gold Deposit,
Heilongjiang Province

作者姓名: 韩世炯

专 业: 矿物学岩石学矿床学

研究方向: 矿床地质学

指导教师: 杨言辰 教授

任云生 教授

培养单位: 地球科学学院

2010 年 5 月

黑龙江省金厂金矿床成矿时代及其地球动力学意义

Metallogenic Epoch and Its Geodynamic Significance
Of the Jinchang Gold Deposit,
Heilongjiang Province

作者姓名：韩世炯

专业名称：矿物学岩石学矿床学

指导教师：杨言辰 教授

任云生 教授

学位类别：理学硕士

答辩日期： 年 月 日

未经本论文作者的书面授权，依法收存和保管本论文书面版本、电子版本的任何单位和个人，均不得对本论文的全部或部分内容进行任何形式的复制、修改、发行、出租、改编等有碍作者著作权的商业性使用（但纯学术性使用不在此限）。否则，应承担侵权的法律责任。

吉林大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 年 月 日

《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》投稿声明

研究生院：

本人同意《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》出版章程的内容，愿意将本人的学位论文委托研究生院向中国学术期刊（光盘版）电子杂志社的《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》投稿，希望《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》给予出版，并同意在《中国博硕士学位论文评价数据库》和 CNKI 系列数据库中使用，同意按章程规定享受相关权益。

论文级别： ☒ 硕士 ☐ 博士

学科专业： 矿物学岩石学矿床学

论文题目： 黑龙江省金厂金矿成矿时代及其地球动力学意义

作者签名：

指导教师签名：

年 月 日

作者联系地址（邮编）： 吉林省长春市建设街 2199 号，130061

作者联系电话： 0431—88502131

内 容 提 要

黑龙江省金厂金矿床是武警黄金一总队正在勘查的大型金矿床。该矿床位于黑龙江省东南部兴凯地块内，地处张广才岭-太平岭边缘隆起带中太平岭隆起与老黑山断陷结合部位。矿区大面积分布中酸性侵入岩，岩石类型包括闪长岩、花岗闪长岩、粗粒文象花岗岩、闪长玢岩等，其中花岗斑岩、闪长玢岩与成矿关系密切。

本文在矿床的成矿地质背景与控矿地质条件分析基础上，系统研究了矿床地质、地球化学特征，分析成矿流体特征及成矿岩体的锆石年龄。结果表明，金厂金矿的高丽沟矿区与穷棒子沟矿区存在不同的成矿特征，并且是不同成矿期成矿作用的产物。其中穷棒子沟 I 号矿体的地质地球化学特征及成矿时代与区域其他金矿床，如乌拉嘎、东安、砂宝斯等基本一致；而高丽沟 0 号矿体则以金铜多金属矿化为特征，成矿时代与小兴安岭-张广才岭成矿带中的翠宏山、鹿鸣、霍吉河、前进东山等多金属矿床相近。金厂金矿床的地质、地球化学特征研究结果表明，本区具有多期成矿特征，高丽沟 0 号矿体的形成与燕山期太平洋板块的俯冲作用关系密切；而穷棒子沟 I 号矿体的形成可能与小兴安岭-张广才岭形成过程中的伸展-走滑的构造环境有关。

目 录

第 1 章 前 言	1
1.1 研究现状	1
1.2 论文选题依据及意义	2
1.2.1 论文选题依据	2
1.2.2 研究思路	2
1.3 完成工作量及主要成果	3
第 2 章 成矿地质背景	5
2.1 大地构造背景	5
2.2 区域地层	5
2.3 区域构造	6
2.3.1 褶皱	6
2.3.2 断裂	8
2.4 区域岩浆岩	8
2.5 地球化学和地球物理背景	9
2.5.1 地球化学特征	9
2.5.2 地球物理特征	9
2.5.3 遥感影像特征	9
2.6 区域矿产概况	11
第 3 章 矿床地质特征	13
3.1 矿区地质特征	13
3.1.1 矿区构造	13
3.1.1 矿区岩浆岩	14
3.2 矿体地质特征	16
3.2.1 矿化类型	16
3.2.2 矿体特征	20
3.3 矿石特征	26
3.4 成矿期与成矿阶段	29
3.4.1 成矿期与成矿阶段	29
3.4.2 金矿物种类及赋存状态	30

3.5 围岩蚀变特征	30
第 4 章 矿床地球化学特征	33
4.1 分析方法	33
4.2 主量元素特征	34
4.3 微量元素地球化学特征	36
4.3.1 微量元素地球化学特征	37
4.3.2 成矿元素组合及其指示意义	41
4.4 成矿流体特征	41
4.4.1 成矿物质来源	41
4.4.2 成矿流体特征	41
4.4.3 岩浆演化与含矿热液形成	44
第 5 章 矿床成因讨论	45
5.1 成矿地质条件	45
5.1.1 构造条件	45
5.1.2 岩浆岩条件	46
5.2 矿化富集规律	46
5.3 成矿年代学研究	47
5.3.1 样品制备及测试	48
5.3.2 测试结果及分析	49
5.4 成矿地球动力学背景	51
5.4.1 金矿床的成矿期次	51
5.4.2 金矿床的成矿地质背景	52
5.4.3 金矿床成矿的地球动力学背景	54
结论与进展	55
参考文献	56
中 文 摘 要	1
Abstract.....	3
致 谢	5
导师及作者简介	6

第1章 前言

1.1 研究现状

金厂金矿位于黑龙江东南部东宁县境内，地处兴凯地块、吉黑东部太平岭隆起带与老黑山断陷交汇部位，区域上岩浆—构造活动强烈。太平岭隆起带位于华北地台北缘和吉黑地槽褶皱带南缘，是太平洋板块与亚洲板块作用的产物，同时中国北方主要的金矿集中区（赵春荆等，1996）。自1994年开展金矿地质勘查工作至今，矿区共发现工业矿体17条，累计探获（333）资源量63406千克，规模已达到特大型金矿床，且找矿潜力巨大。

从60年代开始，前人在该矿床上做了大量的研究工作。近几十年来，武警黄金地质研究所等单位在该区开展了一系列找矿勘探和科研工作，先后完成了《金厂矿区控矿条件及找矿方向》（1997）、《黑龙江省东宁县金厂矿区及外围金矿成矿规律与深部预测》（2000）以及《黑龙江省东宁县金厂矿区金矿普查报告》（2002）等勘探报告和科研报告，并发表了多篇学术论文，取得较大研究进展，主要成果有《黑龙江金厂金矿流体地球化学特征》（金宝义等2002）、《黑龙江东安金矿成矿的构造条件分析》（曲晖等）、《2007黑龙江金厂金矿流体包裹体研究》（赖勇等）、《金厂特大型金矿床的地质特征与成因研究》（贾志国等2005）等。

尽管前人对该矿床进行过诸多研究，但在矿床类型及成矿理论方面还存在较大争议，如对矿床类型的认识，刘连登等（1999）认为该矿床产于老黑山断陷盆地火山-侵入杂岩区，矿化类型为网脉-角砾岩型；朱成伟等（2003）认为其为浅成低温热液型矿床；贾国志等（2005）等认为该矿床属于斑岩-浅成低温热液矿床叠加及与火山-次火山热液有关矿床。在成矿时代方面，前人认为金矿成矿的年龄分别为119~122Ma（贾国志等，2005）、119~123Ma（陈锦荣等，2002）、190.8~226.2Ma（黑龙江省地质矿产，1993）。

截止目前，前人对金厂金矿床的研究主要集中在穷棒子沟矿体，而对高丽沟矿体与穷棒子沟矿体的差异，以及相关热液蚀变特征研究等关注不多，对各主要岩浆活动期以及岩浆活动与金矿成矿的关系等方面研究，仍缺乏可靠的年龄数据的支持。

1.2 论文选题依据及意义

1.2.1 论文选题依据

黑龙江金厂金矿位于中国东北部的东宁-延吉金矿集中区内,属于正在勘查的大型矿床。自2008年开始,作者跟随导师参与了金厂金矿床的室内、外研究工作,重点对该区穷棒子沟I号矿体和高丽沟0号矿体地质、地球化学特征进行了系统研究,并对控制穷棒子沟I号矿体的花斑岩和控制高丽沟0号矿体的石英闪长岩进行了锆石U-Pb年代学分析,结果表明两者在地质、地球化学特征方面存在明显差异外,同时在成矿岩体侵入时间上存在更大差异,与穷棒子沟I号矿体相关的的花斑岩形成于白垩纪($109.0\pm 2.4\text{Ma}$),而与高丽沟0号矿体密切相关的的石英闪长岩则属于侏罗纪($192.8\pm 5.8\text{Ma}$)。前者与区域金矿床形成时代($100\sim 120\text{Ma}$)一致,如乌拉嘎金矿床为 $100\sim 102\text{Ma}$ 、东安金矿为 $108\sim 112\text{Ma}$ 、砂宝斯为 $120\sim 121\text{Ma}$;而高丽沟0号矿体的成矿年龄则与小兴安岭成矿带中的多金属矿床成矿时代相近,表明本区可能存在至少两期成矿作用,而且分属于不同成矿地质背景。

基于上述研究成果,在导师杨言辰教授的指导下,确定以“黑龙江金厂金矿的成矿时代及其地球动力学意义”为论文选题,对金厂金矿床的地质特征、地球化学特征和成矿年代学进行系统研究,以期对矿床深部、矿床外围,乃至成矿带的找矿预测提供科学依据。

1.2.2 研究思路

在充分掌握前人资料的基础上,综合运用地质学、地球化学及同位素地质学等方法,对该区进行详细的岩石学、年代学、地球化学等研究,主要解决以下4个存在的问题:

①由于综合研究程度较低,导致对区内主要控矿构造以及容矿构造等还没有一个统一的认识,制约了进一步地质工作的开展。

②金厂金矿的矿体类型复杂,虽有不少成果发表,但还是未能系统的说明各种成矿类型之间的时空关系以及是否属于同一成矿作用的产物等问题。

③受到找矿方法和手段的限制,对深部隐伏矿体的找矿潜力评价不够全面。

④有关金厂年代学的问题应该采用更精确的测试方法。

在收集、分析前人研究成果的基础上,大致查明普查区地质构造概况;大致

掌握矿体形态、产状、质量特征；大致了解矿床开采技术条件，并对所圈定的物、化探异常及遥感解译的环形影像进行验证。根据所了解到的金厂金矿的研究现状，确定本文的研究内容：

- (1) 开展矿床矿体地质特征研究，系统采集相关岩石样品。
- (2) 重点样品运用单颗粒锆石 U-Pb 法，对其进行精确定年。
- (3) 进行代表性样品地球化学测试，详细分析该矿床的地球化学特征。
- (4) 综合矿床矿体的地质特征、地球化学特征和矿石流体包裹体特征，探讨岩浆作用与成矿的关系。
- (5) 在总结前人资料的基础上，结合东北地区的构造事件，探讨其地球动力学意义。

1.3 完成工作量及主要成果

中国地质调查局计划项目中国大陆周边地区主要成矿带成矿规律对比研究所属工作项目《黑龙江两岸金、多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律对比研究》为本次研究提供了经费保障。项目研究作为本论文的完成积累了丰富的资料，就金厂金矿来说，完成的主要工作量见下表（表 1.1）。

表 1.1 论文主要工作量一览表

序号	内容	工作量
1	野外地质调研	20 天
2	修编地质图	2 张
3	采集岩、矿石标本	100 块
4	薄片制作及鉴定	20 个
5	光片制作及鉴定	10 个
6	主量元素分析	6 件
7	微量元素分析	6 件
8	成矿元素分析	15 件
8	锆石 U-Pb 精确定年	2 件
9	反射光照片	20 张
10	透射光照片	30 张
11	CL 照片	15 张
12	绘制、采集相关图件	12 幅

论文研究取得的主要进展与成果：

1. 金厂金矿地处兴凯地块、太平岭隆起与老黑山断陷结合部位，是东北地区重要的大型热液型金矿床。矿区大面积发育燕山期中酸性岩浆岩，金矿化呈构

造蚀变岩型、裂隙充填型、隐爆角砾岩型产出于花岗闪长岩、花岗斑岩、花岗岩和闪长岩中，规模较大的矿体为隐爆角砾岩型，其形态多为柱状、囊状，主要矿体为高丽沟 0 号、穷棒子沟 I 号和半截沟 J-8 号。高丽沟 0 号矿体中金属硫化物含量较高，除金外含较高的 Cu、Pb、Zn 和 Ag 等元素，其他矿体中金属矿物的种类比较单一，主要为黄铁矿。围岩蚀变类型主要为硅化、绢云母化和高岭土化，其次是钾长石化、碳酸盐化和绿泥石化等，硅化、绢云母化与金矿化关系密切。

2. 对含矿岩体地球化学研究结果显示，高丽沟 I 号矿体容矿岩石具有高硅（ SiO_2 ）、富碱（ $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ）特征，且具有较高的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值，与其它矿体的成矿岩体之间存在差别。从稀土元素特征看，成矿岩体均呈右倾稀土元素配分模式特征，但高丽沟含矿岩体的稀土总量和 LREE/HREE 比值相对略低，表明其稀土元素分馏程度相对较低。微量元素含量及蜘蛛网图显示，高丽沟 0 号矿体具有明显低 Nb、Y 和高 La_N/Yb_N 比值的特点，且含矿岩体的 Rb、Th 等大离子亲石元素含量高，显示高丽沟 0 号矿体与穷棒子沟 I 号矿体的成矿岩体具有不同成因。

3. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果表明，高丽沟 0 号矿体容矿围岩石英闪长岩的侵位年龄为 $191.4\pm 6.7\text{Ma}$ ，属于燕山早期岩浆活动产物；而穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩的形成时代为 $109.0\pm 2.4\text{Ma}$ ，属于燕山中晚期岩浆活动产物。反映金厂金矿床的多期多阶段成矿特征。

4. 流体包裹体测试结果表明，金厂矿区流体包裹体以含固相子矿物的多相包裹体特别发育为突出特点，且子矿物类型多，大部分情况下还会伴随有富气相的包裹体。流体包裹体的研究表明含矿流体成矿前以高温、高盐度为主，成矿期属于中高温、低盐度的流体；从成矿深度看，高丽沟 0 号矿体的成矿深度大于穷棒子沟 I 号矿体。

5. 金厂金矿床的地质、地球化学特征研究结果表明，本区具有多期成矿特征，高丽沟 0 号矿体的形成与燕山期太平洋板块的俯冲作用关系密切；而穷棒子沟 I 号矿体的形成可能与小兴安岭-张广才岭形成过程中的伸展-走滑的构造环境有关。

第2章 成矿地质背景

2.1 大地构造背景

研究区位于黑龙江省东南部，处于兴凯湖地块区内，北邻佳木斯地块，西南为华北地块。区域上构造岩浆活动十分强烈，形成一系列隆起带和凹陷带，金厂金矿床正好处于张广才岭-太平岭边缘隆起带中太平岭隆起与老黑山断陷结合部位（图2.1）。

2.2 区域地层

区域上出露的地层主要有下元古界、上古生界、中生界和新生界，其中上古生界石炭-二迭系和中生界侏罗系、白垩系最为发育。

（1）下元古界黑龙江群

主要分布于区域西北部，出露面积较小，呈北东-南西带状分布。主要划分为太平沟组，金满屯+老沟组、鸡冠山组、山咀子组，黑龙江群地层为一套古老的变质岩系组成，太平沟组主要有斜长角闪岩、钠长片岩组成，金满屯组+老沟组主要有石英片岩、钠长片岩、变粒岩组成，鸡冠山组主要由钠长片岩组成，山咀子组以石英片岩、变粒岩为主。

（2）上古生界黄松群石炭-二迭系

在区域内出露广泛，呈北东向分布。自下而上可分为三个组：杨木组、阎王殿组、双桥子组。杨木组主要由灰色含石榴二云钠长片岩组成，阎王殿组主要为含石榴碳质绢云千枚岩，双桥子组主要由变质中酸性熔岩及火山碎屑岩、绢云千枚岩组成。

（3）中生界侏罗系及白垩系

中生界地层较为发育，大致呈条带状NNE向展布，自下而上为托盘沟组、天桥岭组、屯田营组、东宁组。托盘组以酸性、中酸性含砾凝灰岩为主；天桥岭组

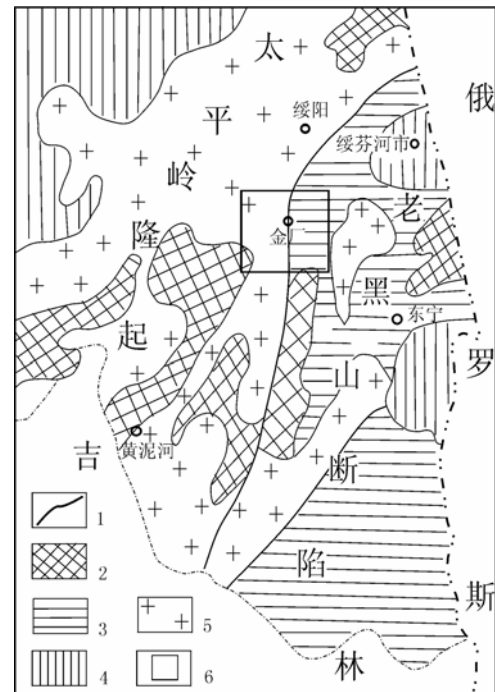


图2.1 东宁金厂所处大地构造部位

1-构造单元线；2-上元古界构造层；3-印支期构造层；4-燕山期构造层；5-花岗岩类；6-工作区位置

主要由灰-灰黄色流纹斑岩及其凝灰熔岩组成；屯田营组由玄武岩、玢岩、凝灰岩、砂砾岩等组成，东宁组主要为灰白色砾岩、砂砾岩。

白垩系地层主要出露于伊林-下城子、共和及东宁一带，自下而上划分为东大岭组、下城子组、康吉组、龙井组。东大岭组主要由流纹斑岩组成；下城子组主要由黄褐色含砾砂岩、粉砂岩、黑色泥岩组成；康吉组主要由一套中性火山岩、中基性火山岩及其凝灰岩薄层组成，龙井组主要由紫色粉砂岩、砾岩组成。

(4) 新生界第三系及第四系

区域内第三系出露有中上统道台桥组（鸡西小区）和土门子组（延连小区），上新统高位玄武岩（鸡西小区）或船底玄武岩（延连小区）。

第四系主要分布于区域内的大小河谷中，分为上更新统和全新统。上更新统主要由砂砾石及粘土组成，构成Ⅱ级阶地堆积物；全新统早期主要由砂土、砂砾石组成，构成Ⅰ级阶地堆积物；全新统晚期主要由砂砾石组成，构成河漫滩冲积物。

2.3 区域构造

区域上位于张广才岭-太平岭边缘隆起带上，北东向的绥阳深大断裂及北东-北北东向的褶皱奠定了本区构造的基本格局。由于构造运动的长期性和岩浆活动的频繁，导致了褶皱形态及断裂构造的复杂（图2.2）。

2.3.1 褶皱

本区的褶皱发育有太平岭复背斜，其轴向为北东向，贯穿整个区域，长达上百公里。由于受SN向和NW向断裂影响，而将其分成三段。南西段的轴部地层为上元古界黄松群杨木组，北东段的轴部地层为黄松群阎王殿组，系南西段抬起，北东倾没的复背斜。其中发育有一系列的次级褶皱，主要包括：双桥子向斜、南天山向斜、黄松背斜、黑瞎子沟向斜、杨木二段向斜及大猪圈背斜等。

双桥子向斜：位于本区的东北部，由于受后期构造运动的影响，轴向向东偏移，为北东 60° 左右。核部地层为中石炭-下二叠统双桥子组，两翼为阎王殿组。北西翼地层倾向 165° ，倾角 38° ；南东翼地层倾向 330° ，倾角 $36-44^{\circ}$ 。

南天山向斜：位于本区的东南部，轴向北东，长约13km。地层为双桥子组，两翼为阎王殿组。南天山一带为褶皱转折端，地层倾向南西，倾角 40° 左右。由于断层的影响，地层产状代表性较差，但总体趋势为两翼向核部倾斜。

黄松背斜:位于本区南部,轴向北东,延长大于16km。轴部被燕山期白岗质花岗岩侵入,两翼为杨木组上部地层。北西翼倾向315°,倾角40°;南东翼倾向130°,倾角30°。

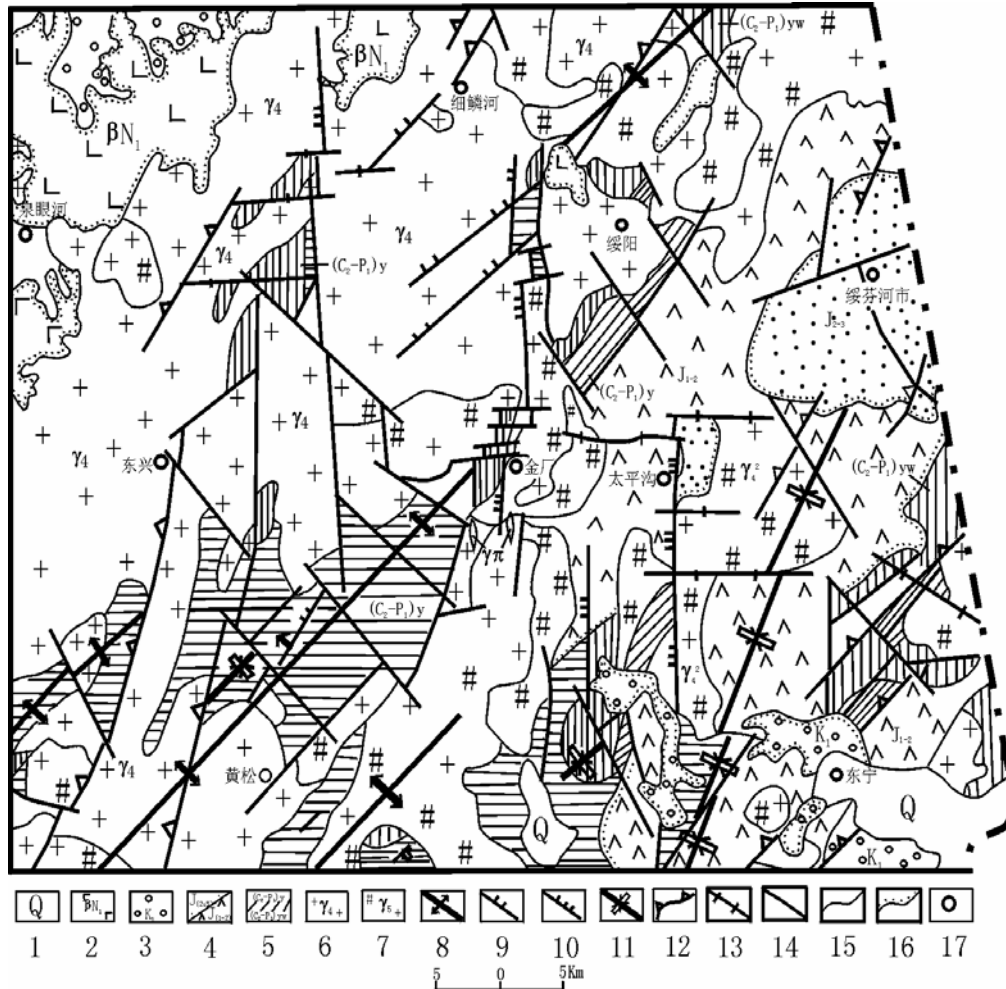


图 2.2 区域地质构造简图

1-第四系; 2-第三系; 3-白垩系; 4-侏罗系; 5-古生界; 6-印支期花岗岩; 7-燕山期花岗岩; 8-背斜轴; 9-北东向压性-压扭性断裂; 10-南北向压性-压扭性断裂; 11-向斜轴; 12-压性-压扭性断裂; 13-张扭性断裂; 14-其它断裂; 15-地质界线; 16-不整合界线; 17-村镇

黑瞎子沟向斜:位于本区的东南部,与黄松背斜毗邻,居其东侧,轴长10Km,核部地层为阎王殿组,两翼为杨木组。北西翼倾向170°,倾角40°;南东翼倾向325°,倾角46°。

杨木二段向斜:位于本区的南部,轴向北东,延长13km。轴部为杨木组上部地层,两翼为杨木组下部地层。由于花岗岩的侵入破坏,北西翼出露不全,其倾向115°,倾角40°。南东翼倾向300°,倾角50°。

大猪圈背斜:位于本区的西南部,轴向北东,长约20km。轴部为杨木组地层,两翼为阎王殿组。由于花岗岩的侵入破坏,南东翼地层出露不全,其倾向

140-150°, 倾角45°; 北西翼倾向320-330°, 倾角40-45°。

2.3.2 断裂

本区断裂构造比较发育, 北东向的绥阳深大断裂控制着断裂构造格架, 按走向可把断裂分为四组:①NE-NNE向压扭性-压性断裂; ②NW向张扭性-张性断裂; ③近SN向压性-压扭性断裂; ④近EW向张性-张扭性断裂。

NE-NNE向断裂:该组断裂在全区最为发育, 规模也比较大, 断裂性质以扭性-压扭性为主, 也有少数呈压性。主要的断裂有三道河子断裂、会川断裂、双桠子-黄松断裂、新兴屯-莲河林场断裂、奇新屯-柳毛河下屯断裂、共和-伊林断裂、东兴林场-共和林场断裂、杨木二段-十七公里断裂、三十公里-大杨树断裂、冠河沟-柳毛河河南断裂及敦密断裂等。

NW向断裂:该组断裂在全区范围内也比较发育, 但规模较小, 断裂性质以扭性-张扭性为主。主要的断裂有猴石沟断裂、砍椽沟断裂等。

近SN向断裂:该组的断裂在全区也比较发育, 断裂性质以压性为主, 也有少数呈压扭性。主要的断裂有绥西-黑瞎子沟断裂、太平沟-石灰窑断裂、南山-黄金河断裂、太平沟-半砬窝洼断裂、通沟岭-索利营沟断裂、鸡房子-桦木岭断裂及512高地-八号砬子断裂等。

近EW向断裂:该组断裂规模比较小, 多呈张性特征, 有时也错断上述断裂, 显示张扭性特征。

2.4 区域岩浆岩

区域内侵入活动强烈, 侵入岩分布广泛, 占区域面积的44%, 以中深成花岗岩类为主, 岩石类型为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、白岗质花岗岩, 其次为辉石闪长岩、闪长岩等, 主要呈岩基状、岩株状产出, 也有呈脉岩产出。可划分为印支期、燕山期两个侵入旋回。

印支中-晚期侵入岩: 主要分布于区域中部及西北部, 呈岩基或岩株状产出, 侵入方向为北东向, 主要为白岗质花岗岩、花岗岩。

印支晚期侵入岩: 为区域内最早发育的一期侵入岩, 多呈岩基状产出, 也有呈岩株状产出者, 侵入方向为北东向。岩石类型以花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩为主, 闪长岩次之。

燕山早期侵入岩: 本期侵入岩出露较为广泛, 仅次于华力西晚期侵入岩的出

露面积，呈岩基、岩株状产出，受新华夏系构造体系与南北向构造系统的控制，沿北北东向，南北向分布，岩石类型为闪长岩、花岗闪长岩，斜长花岗岩、花岗岩、白岗质花岗岩及它们的斑（玢）岩。

燕山晚期侵入岩：本期侵入岩主要分布于东宁县大徐山-西大岗一线的南北向构造带上，出露不甚广泛，多呈岩株状、脉状产出，多呈南北向分布，岩石类型有花岗斑岩、闪长玢岩以及流纹斑岩等。

2.5 地球化学和地球物理背景

2.5.1 地球化学特征

该区地势为中低山区，气候属于中温带，受海洋气候的影响，区内土壤发育，植被发育，覆盖层较厚，山坡以残坡积物为主，由粘土、砂土、砾石等组成，属森林景观区。

根据矿区开展的 1/10 万水系沉积物测量以及 1/万土壤测量成果，认为工作区金元素在侏罗系地层及印支晚期侵入岩（花岗岩、闪长岩、粗粒花岗岩、花岗斑岩）中含量较高，离差较大，浓集系数大于 1，表现出富集状态。该区的土壤多元素异常的分布与构造、矿化带关系密切，而且这种多元素异常叠加的部位往往反应出了该区的构造部位。

2.5.2 地球物理特征

该区属岩浆岩区，大面积分布的花岗岩极化率低，在含有黄铁矿地带，极化率明显增大，电阻率较小。矿石 η_s 平均值为 12.5%，电阻率 404 Ωm ，蚀变花岗岩 η_s 平均值为 20%，电阻率 107 Ωm ，花岗岩 η_s 平均值为 1.10%，电阻率为 3142 Ωm 。圈定物探异常 23 处，化探异常 17 处，其中 12 处矿化异常。

2.5.3 遥感影像特征

1999 年廊坊研究所对绥阳-老黑山一带开展 1:1 万遥感解译工作，共解译出环型影像 46 多个；2006 年解译识别出环型构造 209 个，其中一级环型构造影像 48 个，具有已知矿化角砾岩筒的一般特征，可作为野外检查首选目标，二级环型构造影像 87 个，三级环型构造影像 74 个，推测多为非矿化角砾岩筒、小（隐伏）岩体或其它因素所致，野外工作中可进行一般性矿点检查。

根据环型构造的集中分布特征及其产出的地质构造背景对成矿的有利程度，

圈出 5 个隐爆角砾岩筒型金矿环形影像密集区（表 2.1），其中一级区 3 个：2、3、4 号环形影像密集区；二级区 1 个：5 号环形影像密集区；三级区 1 个：1 号环形影像密集区（图 2.3）。

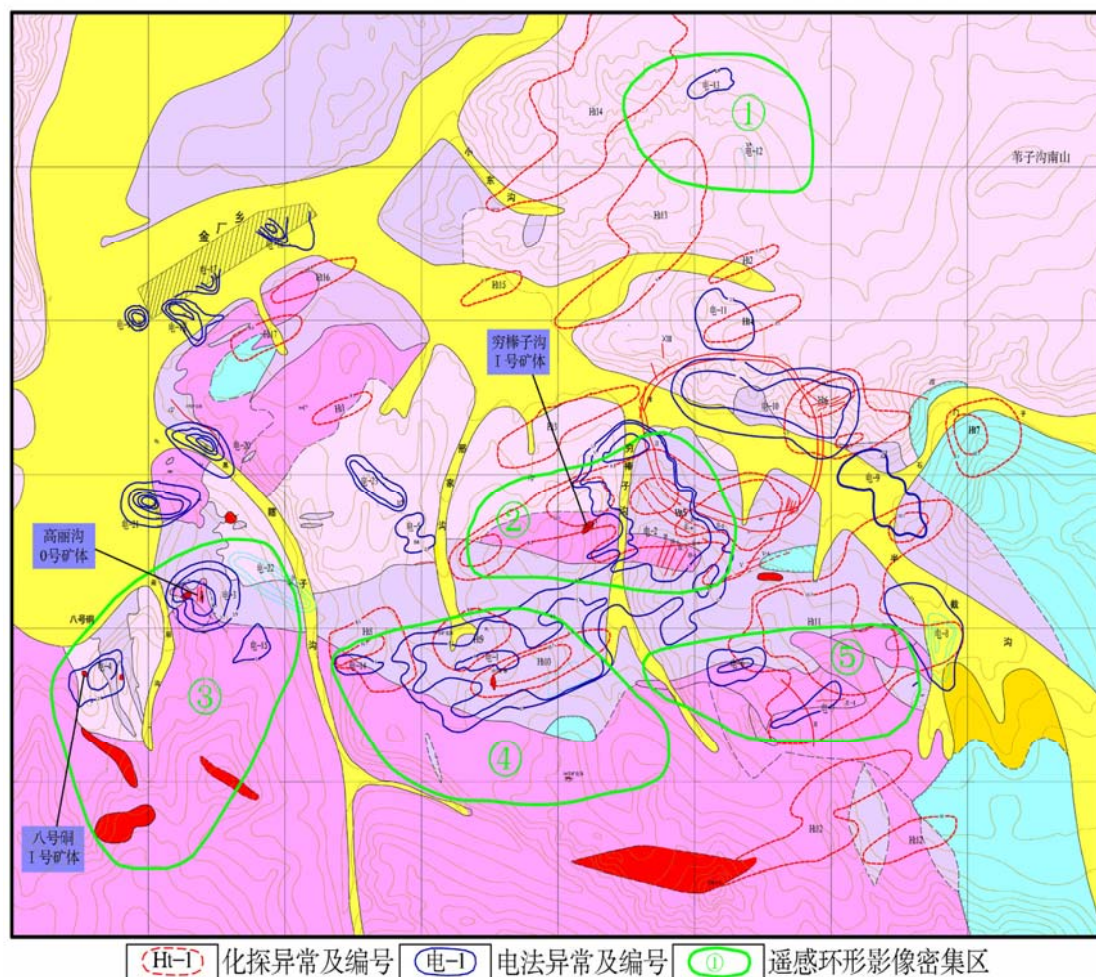


图 2.3 金厂地区地球化学异常图及遥感解译

1 号环形影像密集区：位于矿区北部，面积约 1 千米。共解译出 10 个小环型构造，其中一级环 1 个，二级环 5 个，三级环 4 个，蚀变脉体 5 条，分布于花岗岩出露区。

2 号环形影像密集区：位于矿区中部邢家沟—穷棒子沟一带，面积约 0.8 平方千米。该区发育东西、北东、北西—近南北向线型构造，解译出环型构造 23 个，其中一级环 14 个，二级环 7 个，三级环 2 个，蚀变脉体 3 条，穷棒子沟 1 号矿化角砾岩筒即产于其中，成矿条件有利，有望发现新的矿化角砾岩筒。

3 号环形影像密集区：位于矿区西南部黑瞎子沟-高丽沟一带，面积 3.1 平方千米。区内发育东西向、北东-北东东向线型构造，共解译出环型构造 27 个，其

中一级环 17 个，二级环 9 个，三级环 1 个，高丽沟、八号铜矿化角砾岩体即产于一级环内，岩浆活动期次多，成矿条件优越，发现新矿化角砾岩筒的潜力大。

4 号环形影像密集区：位于矿区中南部，面积约 2 平方千米。发育东西、北西和近南北向线型构造。共解译出小环型构造 49 处，其中一级环 12 处，二级环 23 处，三级环 14 处。成矿地质条件有利，小环型构造发育，是寻找矿化角砾岩筒的有望区。

5 号环形影像密集区：位于矿区中偏东部，面积约 0.8 平方千米。共解译出小环型构造 13 处，其中一级环 3 个，二级环 7 个，三级环 3 个，成矿条件有利，是寻找隐爆角砾岩筒型金矿潜力较大地区。

经对 2 号环形影像密集区内的部分环形影像系统查证，发现 I 号矿体，对 3 号环形影像密集区内部分环形影像系统查证，发现 0、X 号矿（化）体，对 4 号环形影像密集区内部分环形影像系统查证，发现 14 号矿（化）体，对 5 号环形影像密集区内部分环形影像系统查证，发现 11 号矿（化）体，其他环形影像未系统查证。

综上所述，由图 2.3 可以看出，其中矿区内已成型的 I 号矿体（2 号环）、0 号矿体（3 号环）、八号铜 I 号矿体（1 号环）所处的位置与环型影像相吻合。经过研究发现环型影像大部分都为角砾岩筒，蚀变及矿化均较发育，由此足以说明区内角砾岩筒为重要的容矿、控矿构造。

2.6 区域矿产概况

由于本区两大构造单元的复合部位，存在长期频繁的构造作用和岩浆活动等，导致了区内矿产的多样性和成因的复杂性。作为我国的重要矿产集中区之一，本区发育有多种金属和非金属矿产，主要矿产以金、银、铅、黄铁矿、铜、煤、石英等为特征。

表 2.1 金厂矿区遥感解译引爆角砾岩筒型找矿远景区特征一览表

远景区 编 号	远景区 级 别	位置及面积	遥感影像特征	远景区地质特征
1	III级	小东沟-崔大麻子沟，呈西北角突出的圆角方形，边长1千米，面积约1千米	解译出1级微环构造1个，2级微环构造5个，3级微环构造4个，蚀变脉体5条。	分布于燕山中期第二阶段文象斜长花岗岩、花岗岩出露区。
2	I级	邢家沟-穷棒子沟一带，呈圆角三角形，底边长1.5千米，高0.8千米，面积约0.8平方千米。	该区发育东西、北东、北西-近南北向线型构造，共解译出环型构造23个，其中一级环14个，二级环7个，三级环2个，蚀变脉体3条。	南部出露燕山晚期第一阶段石英闪长岩、闪长玢岩，北部出露燕山中期第二阶段文象斜长花岗岩、花岗岩，中部沿东西向接触带出露燕山晚期第二阶段花岗斑岩。穷棒子沟1号矿化角砾岩筒即产于其中，成矿条件有利，有望发现新的矿化角砾岩筒。
3	I级	位于矿区西南部黑瞎子沟-高丽沟一带，呈长轴北东的椭圆形，长轴长2.5千米，短轴长1.4千米，面积3.1平方千米。	区内发育东西向、北东-北东东向线型构造，共解译出环型构造27个，其中一级环17个，二级环9个，三级环1个。	大面积出露燕山中期第三阶段中细粒花岗岩，其中发育同一阶段晚期的花岗斑岩小侵入体；北部出露燕山中期第二阶段文象花岗岩、花岗岩和燕山晚期第一阶段闪长岩、闪长玢岩；高丽沟0号、八号矿化角砾岩体即产于一个一级环内，岩浆活动期次多，发现新矿化角砾岩筒的潜力大。
4	I级	位于矿区中南部，呈北东角被截去的圆角矩形，宽2.1千米，高1.1千米，面积约2平方千米。	发育东西、北西和近南北向线型构造。共解译出小环型构造49处，其中一级环12处，二级环23处，三级环14处。	北部出露燕山晚期第一阶段石英闪长岩、闪长岩，南部出露燕山中期第三阶段中细粒花岗岩，在两者接触部位出露中侏罗统凝灰岩夹安山岩残留地层。成矿地质条件有利，小环型构造发育，是寻找矿化角砾岩筒的又一有望区。
5	II级	位于矿区中偏东部，呈西南角被截去的圆角扁矩形，宽1.6千米，高0.6千米，面积约0.8平方千米。	共解译出小环型构造13处，其中一级环3个，二级环7个，三级环3个。	北部边缘出露燕山晚期第一阶段石英闪长岩、闪长玢岩，南部出露燕山中期粗粒花岗岩、中细粒花岗岩，中部近东西向接触带被燕山晚期第二阶段花岗斑岩所侵位。成矿条件有利，是一个寻找隐爆角砾岩筒型金矿潜力较大地区。

第3章 矿床地质特征

3.1 矿区地质特征

3.1.1 矿区构造

矿区处于张广才岭-太平岭边缘隆起带中太平岭隆起与老黑山断陷结合，岩浆活动频繁，构造发育（图 3.1），前者提供了丰富的成矿物质来源，后者提供了导矿空间和容矿空间，成矿地质条件优越。

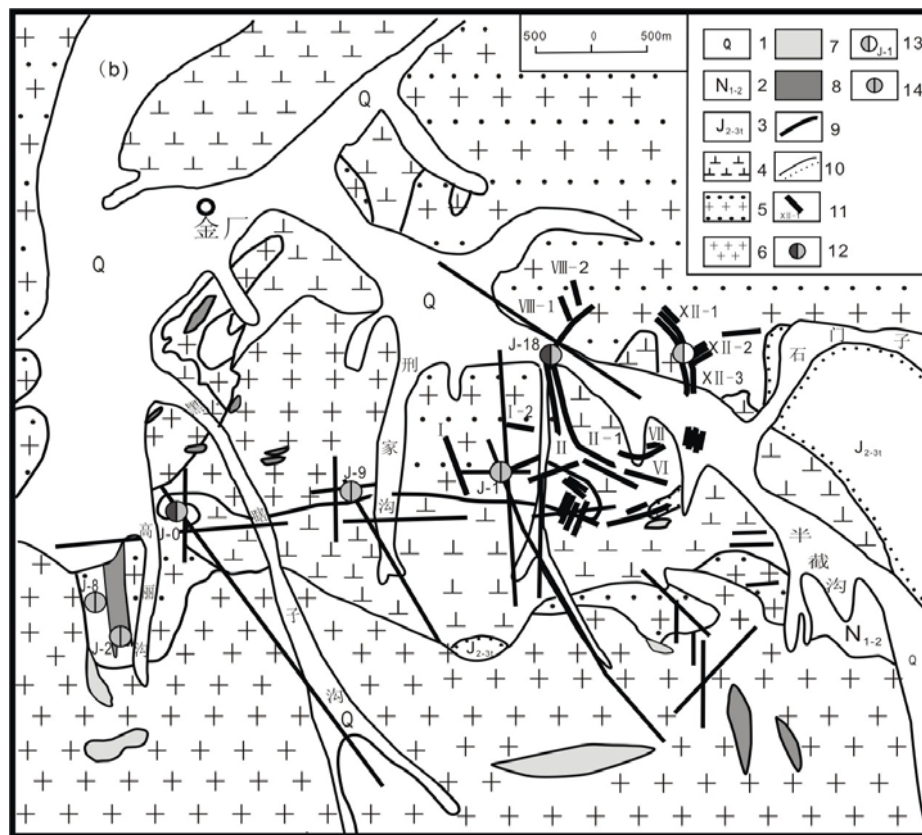


图 3.1 金厂金矿大地构造纲要图

1-第四系;2-第三系;3-下侏罗统地层;4-印支期闪长岩;5-印支期文象花岗岩;6-印支期花岗岩;7 花岗斑岩脉;8-闪长玢岩脉;9-断层;10-不整合界线;11-矿脉及编号;12-铜金矿体;13 银金矿体;14-金矿体

矿区内地层出露简单，在矿区西南部零星发育侏罗系中统地层，岩性为流纹岩、英安岩及凝灰熔岩；新生界第三系、第四系分布于小绥芬河及其次级沟谷中，主要由砂岩、砾岩及砂砾石组成。

矿区位于太平岭隆起与老黑山断陷交接部位，断裂构造比较发育。断裂构造、岩浆穹隆构造及派生的环状-放射状构造、隐爆角砾岩筒控制了区内矿体的分布。以北东向、北西向、南北向以及东西向线性构造为主。

(1) 矿区处于北东向绥阳深大断裂及南北向绥西-金厂断裂交汇部位。北东向绥阳深大断裂长期活动,是太平岭隆起带与老黑山断陷的分界线,控制区域地层和印支-燕山期侵入岩体的展布。矿区内发育的东西向断裂集中于八号硐-高丽沟-黑瞎子沟一带,剪应力作用形成的走向断层。南北向绥西-金厂断裂带由平行的压性断裂组构成。矿区由西至东等间距分布4条南北向断裂,即高丽沟断裂、黑瞎子沟断裂、邢家沟断裂、穷棒子沟断裂,其力学性质为压性断层。

(2) 北西向断裂:有两条规模较大的北西向断裂带平行发育,贯穿全区。矿区产出一系列的北西向断裂构造,近等间距分布,性质为压性-压扭性断层,控制了矿区内部燕山期花岗斑岩和岩浆穹隆构造以及派生的环状-放射状断裂构造的分布。

(3) 东西向断裂:矿区内东西向断裂主要发育于矿区中部,成断裂组产出,矿区内穷棒子沟I号矿体东西两侧分布的黄铁绢英岩脉带受此断裂控制,断裂充填物为黄体绢英岩细脉。

以上4组断裂控制了金厂矿区岩浆穹隆以及隐爆角砾岩体在空间上的分布。断裂构造的分布特点表明该区受东西向或近东西向挤压应力的作用,产生了南北向压性断裂、东西向张性断裂和北东向、北西向压扭性断裂4组断裂制约了印支期和燕山期岩浆岩的侵入、岩浆穹隆的发育、隐爆角砾岩体的产出,其发展及衍生控制了含矿热液的运移、矿床的形成、矿体的定位。

矿区内已成型的I号、0号、八号硐I号矿体,均为角砾岩型,另外,根据遥感解译和野外调查,发现了3处为矿体、5处为矿化体、4处为无矿化角砾岩、8处不是角砾岩,说明角砾岩筒构造是矿区内最重要的控矿和容矿构造。

3.1.1 矿区岩浆岩

由于矿区内的侵入活动比较强烈,导致矿区内侵入岩分布广泛,面积占到区域面积的44%,以中深成花岗岩类为主,岩石类型为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、白岗质花岗岩,其次为辉石闪长岩、闪长岩等,主要呈岩基状、岩株状产出,也有呈脉岩产出。

其中对高丽沟0号矿体和穷棒子沟I号矿体取样并做了镜下鉴定(图3.2),特征如下:

方解石绿泥石化闪长玢岩(照片A):板状结构,斑晶占30~35%,其余为

基质。斑晶为斜长石，半自形板柱状，粒度为 1~1.5mm 左右，卡纳聚片双晶、轻度泥化-绢云母化。基质呈半自形-它形柱粒状结构，由斜长石、绿泥石、不透明矿物、碳酸盐组成。斜长石呈短柱状、粒状，粒度为 0.1~0.2mm。中-轻度泥化，局部碳酸盐化，绿泥石-鳞片状，粒度一般为 0.05mm 左右，多呈集合晶，较均匀分布于斜长石之间；部分呈不规则细网脉状分布，脉宽 0.1~0.2mm，交叉部位大。不透明矿物呈粒状，有的自形晶，分布与绿泥石密切相关，在脉中，可达 0.1~1mm，呈团块、条带状，粒度小于 0.5mm。碳酸盐矿物呈 0.1mm 左右的它形不规则状，局部相对聚集，分布不均。

绿泥黑云钠长岩（照片 B）：主要矿物有钠长石（60~65%）、黑云母（15~20%）、绿泥石（5~10%）。钠长石呈它形粒状，少数呈短柱状，聚片双晶，有的具环带结构，内部光洁外缘杂质较多。粒度为 0.05~0.1mm，个别达 0.25mm。黑云母为黄褐、浅黄色，它形鳞片状，粒度为 0.02~0.05mm，无序分布。绿泥石为浅绿色，它形、微晶；鳞片状，粒度为 0.01~0.05mm，分布不均，局部不规则聚集，无序排列。绿帘石呈微晶粒状，粒度为 0.01~0.03mm 左右，均呈集合晶，不规则团块，分布不均匀。不透明矿物：部分为星散装分布的褐铁矿，微粒、不规则状，一般 0.02~0.05mm；另一部分矿物为粒状，自形、半自形，粒度为 0.5~1mm，与绿泥石、绿帘石密切共生。

矿化石英绢云碳酸盐岩（照片 C）：矿物由碳酸盐（50~55%）、绢云母（20~25%）、石英（10~15%）和不透明矿物（5~10%）组成。绢云母呈微晶鳞片状，鳞片宽 0.05~0.1mm 左右，星散分布。石英呈它形粒状，粒度为 0.1~0.5mm 左右。不透明矿物部分自形粒状，星散分布，粒度为 0.05~1mm；部分呈它形不规则状聚合晶，粒度为 2~3mm 之间。结构不均匀，鳞片状变晶，矿物呈不规则团块状，分别聚集，以 1~2 种矿物未注的团块交替分布。

矿化绿泥石化黑云母石英闪长岩（照片 D）：矿物由斜长石（65~70%）、黑云母（20~25%）、石英（5~10%）、不透明矿物（≤5%）组成。斜长石呈半自形板柱状，粒度为 0.25~2.5mm 之间，卡纳联合聚片双晶，可见环带结构及结构，轻度绢云母化。黑云母呈半自形原板状，粒度为 0.1~2mm 之间，褐色、淡黄色，普通细粒化呈集合体，绿泥石化有铁质析出，伴有不透明矿物相伴。石英呈它形粒状，多数粒度为 0.1~0.3mm，个别达 0.5mm。不透明矿物呈细粒状，多呈不规则侵染状集合晶，与绿泥石化关系密切，而这相伴相随。局部有微脉状

不透明矿物断续延长，脉宽 0.05~0.2mm。

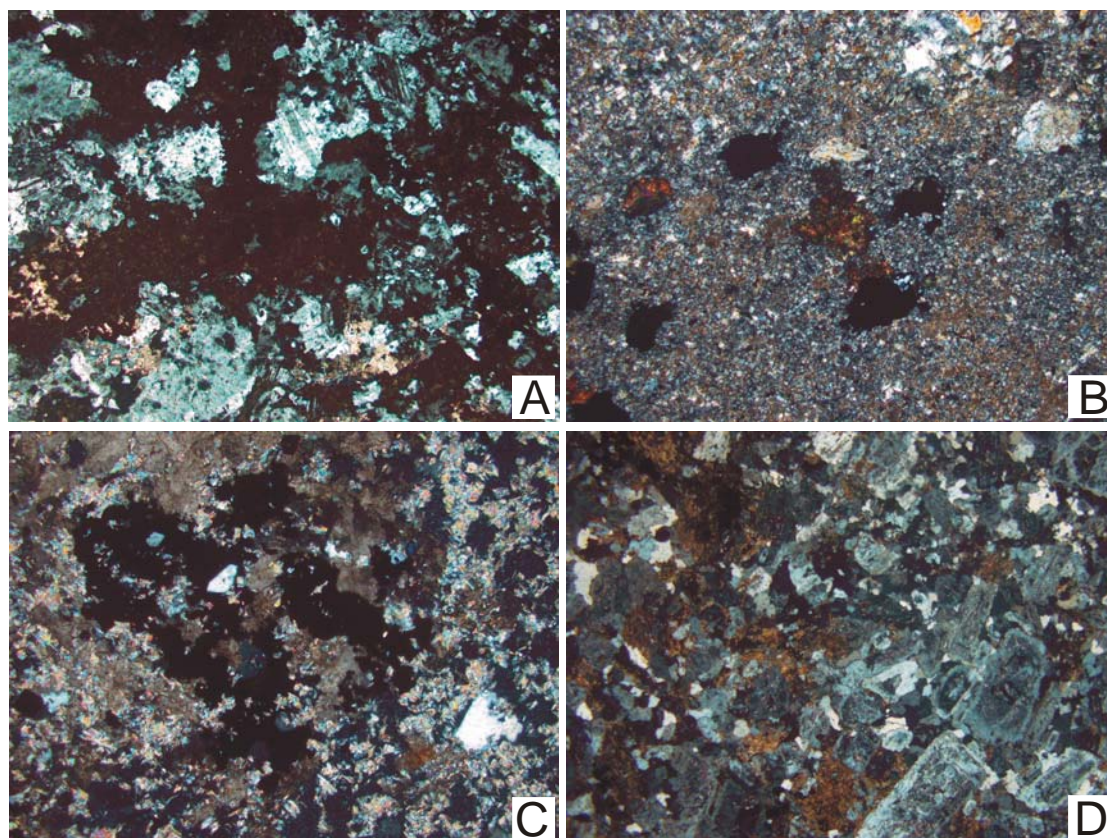


图 3.2 金厂矿区高丽沟 (A、B) 和穷棒子沟地区 (C、D) 样品照片

3.2 矿体地质特征

3.2.1 矿化类型

通过对矿区已经发现的矿化研究表明，到目前为止，已经发现大小金矿体几十个，该区的矿化类型主要为三种类型：隐爆角砾岩型、环状放射状裂隙充填型和岩浆穹窿型。其中隐爆角砾岩型矿体为 6 个，占到资源总量的 41%；规模较大的裂隙充填型矿体为 26 条左右，占总量的占资源量 39%；岩浆穹窿型矿体为 2 个，占资源量 20%。矿体在空间分布上具有明显的规律性（图 3.3）。

（1）隐爆角砾岩型矿体

隐爆角砾岩型金矿床是矿区内重要的金矿化类型，目前在矿区发现四个含矿角砾岩筒，分别位于矿区中部穷棒子沟 I 号、西部八号硐 1 号、高丽沟 0 号、邢家沟 IX 号，它们在空间上明显沿八号硐-半截沟一线自西向东近等间距分布（图 3.3）。该类型金矿化富集形式为全筒式矿化，角砾岩体的形态、产状即矿体的形态、产状，矿在空间上呈筒柱状体，矿体规模大、矿化边界清楚、矿化连续、品

位稳定，资源量集中等特点。隐爆角砾岩型体资源量占矿区资源量 40%。

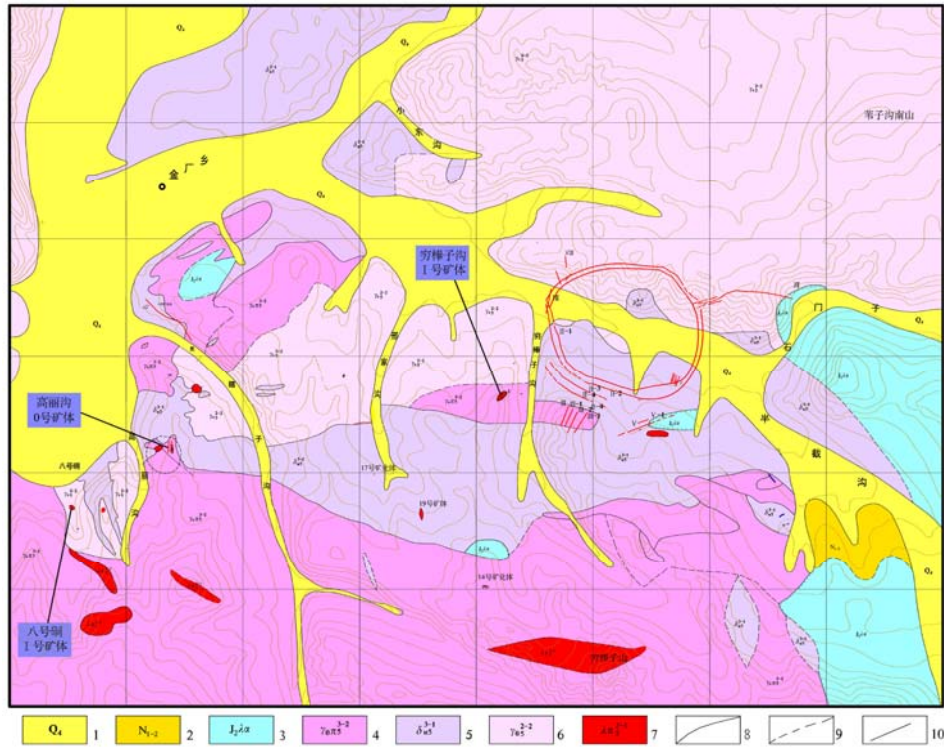


图 3.3 金厂矿区地质图

1-第四系冲洪积、残坡积物；2-上第三系砂岩、泥岩、砂砾岩；3-侏罗系凝灰岩夹安山岩；4-花岗斑岩；5-闪长岩、石英闪长岩、闪长玢岩脉；6-文象斜长花岗岩、花岗岩；7-花岗岩、花岗闪长岩；8-实测地质界线；9-推测地质界线；10-矿(化)体位置及编号

该类型矿体的典型代表为穷棒子沟 I 号隐爆角砾岩型金矿体（图 3.4），筒状产出，其长轴方向为 $245^{\circ}\sim 250^{\circ}$ ，延伸 46 米，短轴方向延伸 30 米。控制深度 540 米，矿体平均厚度 21.02 米，厚度变化系数 165%，矿体品位 8.10×10^{-6} ，品位变化系数 118%，控制（333）资源量 15570kg，矿体产于印支期花岗闪长岩中，位于隐伏的燕山晚期闪长玢岩形成的环形构造上部。矿体空间定位于环型隐伏浅成侵入岩体的中心部位，也是 SN、EW、NW 向断裂构造交汇部位。角砾岩体地质特征表明该角砾岩体为“侵入式”爆角砾岩体。

高丽沟 0 号矿体的特别之处在于其矿化以 Au、Cu 矿化为主，矿体产出于隐爆角砾岩内部（图 3.5）。

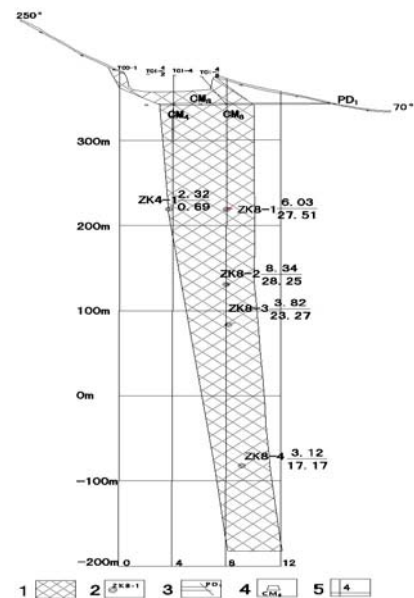


图 3.4 1 号矿体纵投影图

1-矿体位置;2-钻孔位置;3-沿脉坑道;4-穿脉坑道;5-勘探线

①沿半截沟呈环状展布，呈环状分布的矿脉主要有Ⅱ、Ⅱ-1、Ⅱ-2、Ⅴ、Ⅴ-1、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅹ-1、Ⅹ-1、Ⅹ-2、Ⅹ-3、Ⅹ-4、Ⅹ-5、Ⅺ-1 及Ⅺ-2 等，这类矿体的延长较大，厚度较小，矿体在走向上呈弧形弯曲，所有矿体组合成一个完整的环状；

②沿环状展布的矿脉附近呈放射状分布，呈放射状分布的矿体主要有VIII-1、VIII-2、III-1、III-2、III-3、III-4、XII-1、XII-2、XII-3等，这类矿体的延长较小，厚度不稳定，矿体在走向上基本垂直于环状矿体，常成群分布；

③沿东西向断续分布,矿体主要有IX、XIII等,孢子沟、邢家沟、黑瞎子沟、金厂南山等地也有产出。这类矿体的规模较小,仅个别矿体具工业价值。

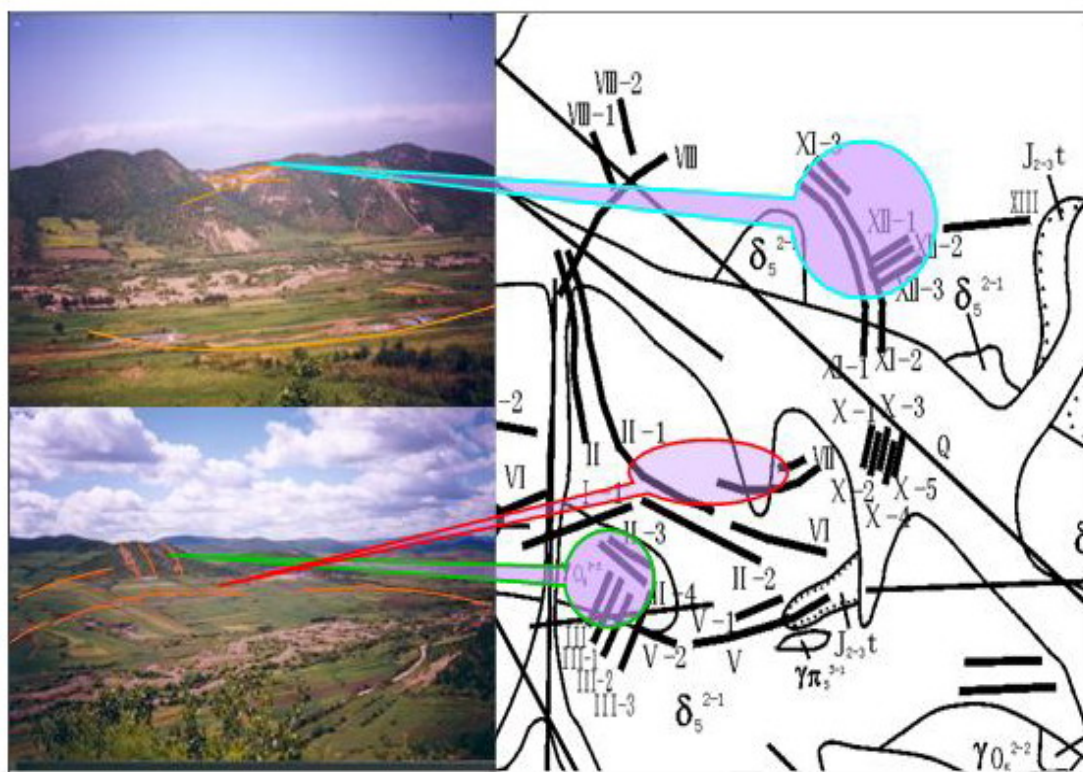


图 3.6 环状放射状裂隙充填型及其矿体分布图 (引自武警黄金部队)

(3) 岩浆穹窿型（破碎蚀变岩型）

资源量占总资源量的 21%，该类型金矿（化）体一分布在半截沟环形构造深部的 18 号矿体为代表（图 3.7、3.8），为隐伏矿体，共分四层分别为 18-1、18-2、18-3、18-4 号矿体，矿化岩石为蚀变花岗斑岩。矿体形态为层状-似层状。矿化范围广，规模大。矿石主要为黄铁矿化、钾化、硅化、绿泥石化、绢云母化等矿化蚀变。

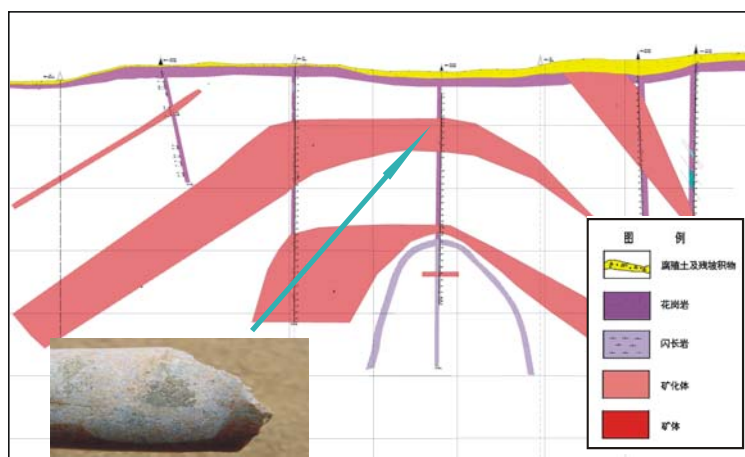


图 3.7 金厂矿区 18 号矿体剖面图（张景海等，2002）

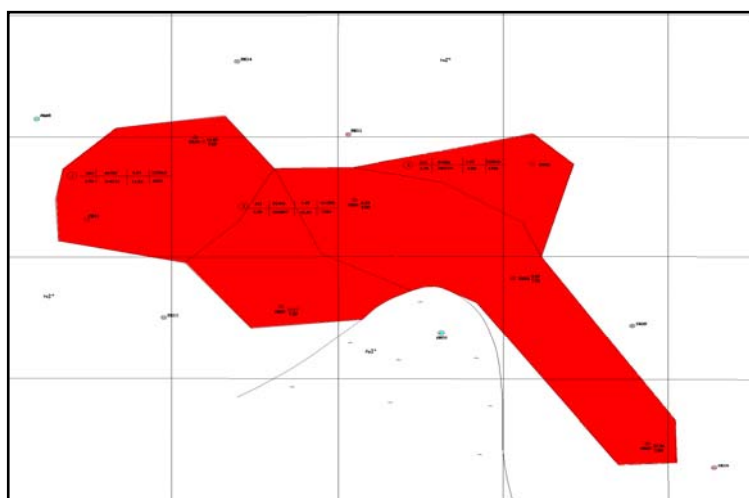


图 3.8 金厂矿区 18 号矿体水平投影图（张景海等，2002）

3.2.2 矿体特征

在金厂矿区共发现具有工业价值的矿体 17 条，矿化体 9 条（表 3.1），其特征分述如下：

高丽沟 0 号矿体：高丽沟 0 号矿体为角砾岩筒型矿体，经过地表槽探、浅部坑探、深部钻探的系统控制，结合品位及矿化特征，分为 0-1、0-2 号矿体及 0-3、0-4 号矿化体。

其中 0-1 号矿体分布于 2-1 线之间，长度 50 米，赋存标高在海拔 399-209 米之间，矿体产状 $90^{\circ} \angle 78^{\circ}$ ，延深 85 米，矿体平均厚度 6.70 米，厚度变化系数为 125%。

0 号矿体产于花岗岩与花岗斑岩接触带附近，容矿围岩为花岗斑岩和花岗闪长岩，围岩普遍见黄铁矿化、绿泥石化现象，另见少量硅化、碳酸盐化及黄铜矿化现象，围岩蚀变程度随远离矿体而减弱。

I号矿体：为隐爆角砾岩型金矿体，位于穷棒子沟西坡，矿体呈筒状，地表出露标高380米，在其顶部有5~15米闪长岩盖层。控制长度46米，矿体总体产状 $155-160^{\circ}\angle 80^{\circ}-82^{\circ}$ ，矿体向北东方向侧伏，侧伏角 83° ，矿体宽度30米左右，单样品位 $1.00-88.11\times 10^{-6}$ 不等，矿体连续稳定，见较好硅化、黄铁矿化、绿泥石化和高岭土化，蚀变强烈。

深部由五排孔控制，控制深度540米，I号矿体平均厚度21.02米，厚度变化系数165%，平均品位 8.10×10^{-6} ，品位变化系数118%。

II号矿体：II号矿体位于穷棒子沟-小孢子沟一带，受矿区中部的大型环状构造控制，地表出露标高310-370米，地表控制长度657米，最大延深175米，赋存于闪长岩的构造破碎带中。矿体呈简单脉状产出，为构造破碎蚀变岩型，产状 $255^{\circ}\sim 200^{\circ}\angle 47^{\circ}\sim 56^{\circ}$ 。见较强烈的褐铁矿化、黄铁矿化、绿泥石化，另有硅化及少量方铅矿化，闪锌矿化。II号矿体平均厚度0.83米，厚度变化系数85%，平均品位 21.33×10^{-6} ，品位变化系数203%。

II-1号矿体：矿体赋存于闪长岩的构造破碎带内，位于穷棒子沟-小孢子沟一带，与II号矿体平行，地表出露标高300~360米。控制长度1600米，产状 $255^{\circ}\sim 150^{\circ}\angle 46^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。II-1号矿体平均厚度1.03米，厚度变化系数78%，平均品位 6.50×10^{-6} ，品位变化系数196%。

II-3号矿体：II-3号矿体位于II号矿体南部，控制长度200米，赋存于闪长岩中的构造破碎带内，为构造破碎蚀变岩型矿体，总体产状 $200^{\circ}\sim 214^{\circ}\angle 60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，地表连续稳定，见较好的褐铁矿化、硅化、绿泥石化现象。矿体平均品位 10.38×10^{-6} ，平均厚度1.29米。

II-4号矿体：II-4号矿体控制长度160米，赋存于闪长岩中的构造破碎带内，为构造破碎蚀变岩型矿体，总体产状 $214^{\circ}\angle 60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，地表连续稳定，见较好的褐铁矿化、硅化、绿泥石化现象。矿体平均品位 3.89×10^{-6} ，平均厚度0.95米。

III号矿体：III号矿体由四条近平行的薄脉型矿体组成，产出于矿区中部的大型环状构造南部，呈放射状产出，矿体赋存标高290~490米，总体走向 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，倾向南东，近直立，矿体厚度0.10~1.10米，产于细晶花岗岩中，见较好的褐铁矿化，绿泥石化、黄铁矿化和少量方铅矿化等，III号矿体在393米、353米中段由坑道控制。

III号矿体由地表向深部连续稳定，围岩也具有硅化、黄铁矿化现象。III号矿

体平均厚度 0.51 米，厚度变化系数 35%，平均品位 11.31×10^{-6} ，品位变化系数 196%。

III-3 号矿体平均厚度 0.30 米，厚度变化系数 21%，平均品位 23.1×10^{-6} ，品位变化系数 104%。

V 号矿体：V 号矿体位于小孢子沟，呈脉状产出于矿区中部的大型环状构造东南部，赋存于闪长岩、细晶花岗岩构造破碎带中，地表控制长度 180 米，最大延深 170 米，为构造破碎蚀变岩型矿体，总体产状 $160^\circ \angle 56^\circ \sim 64^\circ$ ，地表连续稳定，见较好的褐铁矿化，硅化，高岭土化，绿泥石化现象。

V 号矿体在 15 线、7 线、0 线、8 线有钻孔控制。地表连续稳定，沿倾向延深小，在矿体中间部位矿体品位较稳定，厚度有变薄的趋势。矿体平均厚度 0.95 米，厚度变化系数 84%，平均品位 13.89×10^{-6} ，品位变化系数 109%。

VI 号矿体：VI 号矿体位于小孢子沟东，赋存标高 250~170 米，赋存于闪长岩之中的构造破碎带中，受矿区中部的大型环状构造控制，地表控制长度 380 米，矿体总体产状 $195^\circ \angle 48^\circ \sim 55^\circ$ ，矿体地表连续稳定，见较好的褐铁矿化、绿泥石化、高岭土化，蚀变强烈，矿体沿走向膨缩现象明显，宽 0.20~1.00 米不等，局部地段见明金，VI 号矿体平均品位 52.13×10^{-6} ，品位变化系数 164%，平均厚度 0.53 米，厚度变化系数 88%。

VIII 号矿体：VIII 号矿体位于半截沟河谷底，为花岗岩中破碎蚀变带含矿，构成矿区中部的大型环状构造的西端部分，矿体赋存标高 310~130 米，控制长度 380 米，总体产状 $283^\circ \angle 80^\circ \sim 85^\circ$ ，矿体见明显的黄铁矿化，硅化，绿泥石化，宽度 2.00~7.00 米不等。矿体地表平均品位 5.26×10^{-6} ，平均厚度 3.40 米。

VIII 号矿体深部由钻孔控制。矿体平均品位 5.32×10^{-6} ，品位变化系数 179%，平均厚度 2.82 米，厚度变化系数 103%。

邢家沟 IX 号矿体：IX 号矿体位于 5 号物探异常南部，矿体产出于闪长岩内，具较强烈硅化、黄铁矿化，另可见方铅矿化及闪锌矿化，少量黄铜矿化。由 2 个槽探，一层坑道，3 个钻孔控制。矿体平均厚度 3.86 米，平均品位 3.31×10^{-6} ，为椭圆柱状矿体。

XI 号矿体：XI 号矿体位于大孢子沟，赋存标高 490~280 米，为构造蚀变岩型矿体，矿体总体产状 $230^\circ \angle 83^\circ$ ，地表控制长度 290 米，该矿体产于闪长岩中的蚀变破碎带内，总体沿走向上呈串珠状。黄铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化比较强

表 3.1 金厂岩金矿区主要矿体特征一览表

矿体号	成因类型	空 间 位 置		控制 长度 (m)	延深 (m)		产 状 (°)		厚 度 (米)			品 位 (×10-6)			推断的内蕴经 济资源量 (Kg)
		位置	赋存标高		最大	最小	倾 向	倾 角	最大	最小	平均	最大	最小	平均	
0	角砾岩型	高丽沟	399-209	40	215	145	90	82	18.02	0.89	8.70	149.0 4	1.26	11.34	3913
I	角砾岩型	穷棒子沟	-160-380	60	540		160	80	35.00	1.00	21.02	88.11	1.02	8.10	15570
II	环状放射状断 裂构造-脉型	穷棒子沟 -孢子沟	160-344	800	175	60	255	56-64	1.00	0.33	0.83	34.48	1.07	21.33	6025
II-1	环状放射状断 裂构造-脉型	穷棒子沟 -孢子沟	90-350	1600	260	40	265-225	46-50	1.06	0.30	0.78	40.40	1.20	9.23	2617
II-3	环状放射状断 裂构造-脉型	穷棒子沟 -孢子沟	140-320	200	180	40	200-214	60-70			1. 29			10. 38	623
II-4	环状放射状断 裂构造-脉型	穷棒子沟 -孢子沟	270-400	160	125	40	214	60-70	2.00	0.40	0. 95	12.51	1.17	3. 89	283
18	岩浆穹隆型	半截沟	90-350	800	260	40		6-17							22112
III	环状放射状断 裂构造-脉型	穷棒子沟 东	290-470	230	150	60	120	87	0.80	0.20	0.39	74.60	1.10	14.88	488
III-3	环状放射状断 裂构造-脉型	穷棒子沟 东	360-490	230	120	60	120	87	0.60	0.20	0.30	78.65	1.41	23.24	372
V	环状放射状断 裂构造-脉型	小孢子沟	210-360	260	90	50	160	51-55	1.00	0.79	0.95	17.82	7.76	13.95	881
VI	环状放射状断 裂构造-脉型	小孢子沟	170-250	380	190	80	190-195	48-55	0.79	0.30	0.53	125.1 1	5.04	52.26	1326
VIII	环状放射状断 裂构造-脉型	半截沟	130-310	380	210	70	283	80-85	7.00	0.48	2.82	43.45	1.00	5.32	2259
IX	角砾岩型	邢家沟	160-370		210		6	70	8.60	0.58	3.86	25.23	1.00	3.31	77
XI	环状放射状断 裂构造-脉型	大孢子沟	280-490	370	190	80	230	80	4.00	1.00	2.61	11.37	1.10	4.13	1190
XII	环状放射状断 裂构造-脉型	松树砬子	145-510	460	370	40	1-5	80-86	1.80	0.36	0.87	19.20	1.70	10.21	2224
XIII	环状放射状断 裂构造-脉型	松树砬子	190-390	250	190	140	300	47	0.80	0.60	0.81	104.0 1	2.50	24.83	2090
八号硐 I号	角砾岩型	八号硐	225-290	100	170		46	80	26.00		23.40	15.06	1.08	4.04	1319

烈，矿体平均厚度2.61米，厚度变化系数86%，平均品位 4.13×10^{-6} ，品位变化系数76%。

XII号矿体：XII号矿体位于松树砬子北坡，为大型环状构造的北西端放射状构造，矿体属构造蚀变岩型，赋存标高510~190米，矿体控制长度630米，其西段尚未完全控制。产状为 $1-5^\circ \angle 80^\circ$ ，该矿体厚度比较稳定，矿化及蚀变程度不均匀。黄铁矿化强烈，同时见方铅矿化及闪锌矿化，少量黄铜矿化。

该矿体在414米、374米中段由坑道控制，在374米中段，矿体在8-3线间产状及厚度变化不大，但在3-25线间，矿体呈现舒缓波状变化，厚度及产状变化幅度较大，甚至局部地段出现反倾现象，深部由7个钻孔控制。矿体平均厚度0.78米，厚度变化系数43%，平均品位 9.62×10^{-6} ，品位变化系数194%。银品位 232.76×10^{-6} 。

XIII号矿体：XIII号矿体位于半截沟，受矿区中部的大型环状构造控制，属构造蚀变岩型，控制长度250米，产状为 $300^\circ \sim 310^\circ \angle 47^\circ$ ，305米处中段由坑道（PD13）控制，深部由2个钻孔控制，矿体厚度比较稳定，矿化及蚀变均匀，黄铁矿化强烈，蚀变主要为硅化、绿泥石化。矿体平均厚度0.84米，平均品位 24.45×10^{-6} 。

18号矿体：18号矿体位于半截沟内，为隐伏矿体，呈层状产出，分为18-1、18-2、18-3、18-4四层，总体产状： $138^\circ \angle 47^\circ$ ，控制长度近800米，矿化比较均匀，黄铁矿化强烈，蚀变主要为钾长石化、硅化、绿泥石化，有17个钻孔控制。18-1号矿体控制长度320米，平均厚度2.86米，平均品位 11.83×10^{-6} ，探获推断的内蕴资源量（333）5037千克；18-2号矿体控制长度680米，平均厚度3.11米，平均品位 6.94×10^{-6} ，探获推断的内蕴资源量（333）10555千克；18-3号矿体控制长度640米，平均厚度1.63米，平均品位 6.80×10^{-6} ，探获推断的内蕴资源量（333）5194千克；18-4号矿体控制长度570米，平均厚度1.05米，平均品位 4.28×10^{-6} ，探获推断的内蕴资源量（333）1326千克。

八号硐 I 号矿体：八号硐 I 号矿体为一角砾岩筒型矿体，地表出露标高为225~290米，控制长度为100米，矿体产状 $46^\circ \angle 80^\circ$ ，矿体向北东侧伏，矿体平均宽度为23.40米，平均品位为 4.04×10^{-6} 。

大孢子沟IV₁、IV₂、IV₃号矿化体：为闪长岩内构造蚀变薄脉型矿化体。均受同一方向构造控制，由一组相互平行的细脉组成，平均厚度0.20米，总体产状 $120^\circ \angle 60^\circ$ ，具褐铁矿化、高岭土化、绢云母化现象，品位厚度分别为14.12/0.30，

19.40/0.15, 15.80/0.20, 深部无工程控制。

X号矿化体: 位于八号硐, 为蚀变花岗岩型, 地表出露宽度11.0米, 产状 $340^{\circ}\angle 81^{\circ}$, 具较强烈硅化、高岭土化, JXZK0001孔在152.80-218.0米处见矿体, 水平厚度9.69米, 平均品位 1.74×10^{-6} 。

XI-1 号矿化体: XI-1 号矿化体位于大孢子沟 XI 号矿体南侧, 产状为 $208^{\circ}\angle 76^{\circ}$, 为蚀变岩型矿体, 地表褐铁矿化强烈, 另有黄铁矿化, 高岭土化、绢云母化。地表由一个槽探工程控制, 宽度 11.2 米, 最高品位 3.26×10^{-6} , 深部由一钻孔控制, 自 127.30~288.01 米, 样品大于 1×10^{-6} 的 16 件, 其余样品大多在 $0.20\sim 1.00\times 10^{-6}$ 之间。

14号矿化体: 位于邢家沟顶遥感解译出的环形影像中, 地表由单工程控制, 宽度22.00米, 两端未封闭, 见较强烈的硅化、高岭土化及褐铁矿化。2002年施工的J₁₄ZK0001孔自223.50米后见角砾岩, 矿化蚀变强烈, 主要有黄铁矿化、高岭土化、绿泥石化, 少量方铅矿化、闪锌矿化, 局部见黄铜矿化, 断续有13个样品品位大于 0.5×10^{-6} , 最高品位 1.89×10^{-6} 。ZK1402号孔自306.00~331.00米为角砾岩, 矿化蚀变强烈, 最高品位为 4.86×10^{-6} 。ZK1403号孔自91.20~402.42米为角砾岩, 矿化蚀变强烈, 品位均小于 0.50×10^{-6} 。J₁₄ZK0003号孔在198.97-228.16米见到角砾岩, 221.39米~222.19米品位为 1.29×10^{-6} , 332.10米~333.10米品位为 1.01×10^{-6} 。J₁₄ZK0004孔在419.60~434.50米, 角砾岩, 见较强的硅化、绢云母化、强烈的团块状黄铁矿化、细脉状黄铁矿化。

15号矿化体: 15号矿化体位于黑瞎子沟口, 矿化体产于闪长岩构造破碎带中, 产状变化较大, 倾向北东、北西, 在 $320^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间, 倾角较缓, 在 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间, 总体上向北东倾, 遥感解译为一环形构造, 产状变化与深部的次火山岩有关。矿化体长度200米, 宽0.40米, 属薄脉型, 连续稳定, 最高品位 50.20×10^{-6} , 最低品位 1.06×10^{-6} 。

16号矿化体: 16号矿化体位于邢家沟5号激电异常内, TC001中控制宽度35.00米, 最高品位 4.79×10^{-6} , 其余品位在 $0.15\sim 0.20\times 10^{-6}$ 之间, 为矿化蚀变花岗岩, 产状为 $30^{\circ}\angle 80^{\circ}$, 褐铁矿化强烈, 另有黄铁矿化, 高岭土化、绢云母化。ZK1601孔在48.00~49.00米品位为 10.10×10^{-6} 。J₁₆16ZK1501号孔在90.60~134.40米为角砾岩, 110.50~111.50米品位 1.46×10^{-6} , 112.50~113.50米品位 2.01×10^{-6} 。

17号矿化体: 17号矿化体位于邢家沟10号环形影像内, 属于蚀变花岗岩型。

地表见较强硅化、高岭土化；矿化见强褐铁矿化。TJ1701中平均品位为 2.92×10^{-6} ，宽度1.70米。

J₁₇ZK0001 孔中从 61.50 米开始，见灰白色蚀变花岗岩，蚀变见较强的硅化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化；矿化见较强的黄铁矿化，呈团块状、星点状产出。自 65.50 米至 181.00 米，有 7 个样品品位大于 0.50×10^{-6} ，最高为 1.51×10^{-6} （71.50~72.50 米）；到 126.90 米开始变为花岗斑岩，斑晶以长石为主，花岗质胶结，矿化、蚀变较弱。

19号矿化体：19号矿化体位于邢家沟内，TC89-3中发现矿化蚀变闪长岩带，工程控制宽度17米，蚀变见较强的高岭土化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化，矿化有褐铁矿化，最高品位 10.83×10^{-6} ，其余品位多在 $0.25 \sim 1.00 \times 10^{-6}$ 之间。

3.3 矿石特征

3.3.1 矿石类型

金厂金矿的金矿石可分为角砾岩型矿石、蚀变岩型矿石、石英—黄铁矿型矿石、多金属硫化物石英脉型矿石。高丽沟 0 号矿体中的矿石类型有团块状黄铜矿硅化型、块状多硫化物型、角砾岩硅化型、细脉浸染状黄铁矿型、条带状绿泥石化型等。穷棒子沟 I 号矿体的矿石类型有角砾岩型、蚀变岩型、含石英黄铁矿脉型、多金属硫化物-石英脉型等。多金属硫化物石英脉型矿石中的含金量最高，最高可达 1000g/t，角砾岩型矿石含金量中等，一般为 8~15g/t，最高可达 88.11g/t，蚀变岩型矿石的含金量最低，一般为 1~4g/t。

3.3.2 矿石矿物组成及特征

区内矿石主要属于含金属硫化物，以硅酸盐矿物为主的矿石。矿石矿物以黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿为主。脉石矿物以长石、石英、角闪石为主（图 3.9），其次为黑云母、绿泥石、碳酸盐矿物。金矿石属富硫化物矿石，硫化物含量高，石英-黄铁矿脉型和多金属硫化物石英脉矿石中硫化物的含量达 30~50%，局部地段高达 80~90%以上，常形成硫化物团块或硫化物脉；角砾岩型和蚀变岩型矿石中硫化物的含量达 5~20%，局部地段也呈团块状产出。

从各矿体的矿物组合看，高丽沟-邢家沟一带的矿物组合的温度偏高，向半截沟→松树砬子→石门方向，逐渐变为温度偏低的矿物组合。金银矿物也具有类似的变化特征，高丽沟一带金银矿物主要以自然金为主；到半截沟一带，除自然金外，还出现有银金矿；到松树砬子和石门一带逐渐变为金银矿和自然银。总体

呈银含量逐渐增高的趋势。

3.3.3 矿石结构构造

矿石结构主要为半自形粒状结构、自形粒状结构、它形粒状结构。主要构造有致密块状构造、稀疏浸染状构造、砾状构造、星点浸染状构造及细脉网状构造。

高丽沟0号矿体中的矿石以结晶结构为主，其次为碎裂结构、交代结构等；主要构造为角砾状构造、条带构造、浸染状构造、脉状构造；穷棒子沟I号矿体中的矿石结构以结晶结构为主，主要构造为角砾状构造、条带状构造、细脉浸染状构造等。

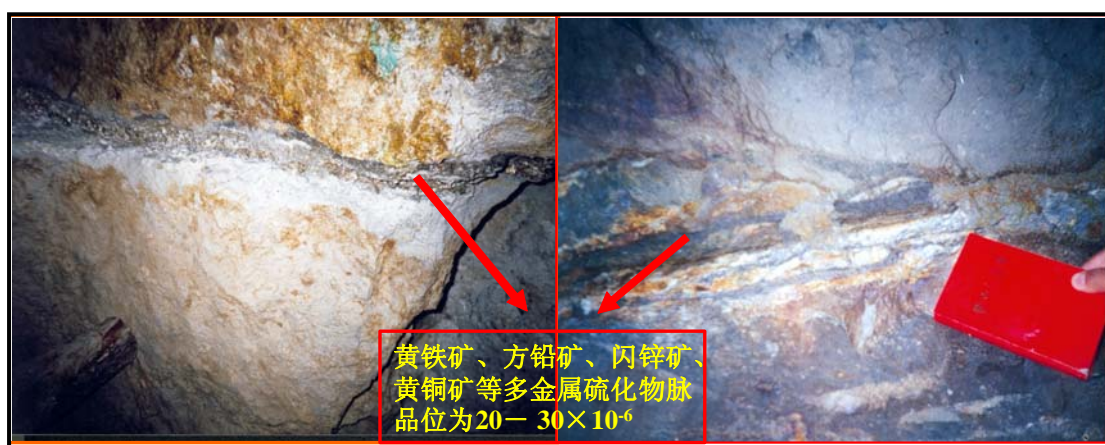
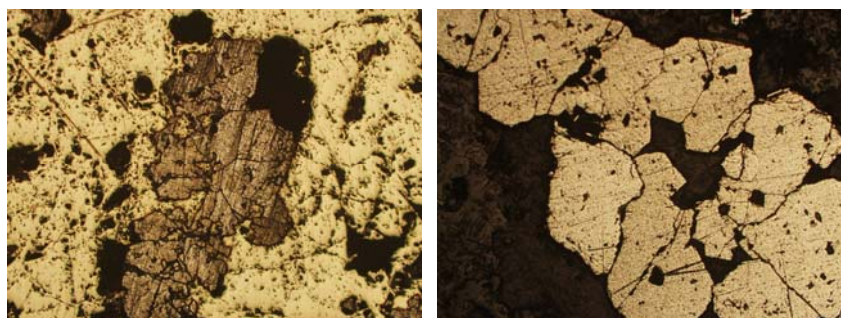


图3.9 金厂矿区硫化物脉



照片1 黄铜矿（5-，GLG-6） 照片2 黄铜矿（5-，GLG-6）

3.3.4 主要矿物特征

黄铁矿：矿石中最主要的金属硫化物，多呈半自形晶，少呈自形晶产出，占矿石矿物含量的1.76%，粒度多大于0.1mm，个别达5mm，占含量的56.2%。黄铁矿与其它金属矿物连生不密切，多分布在脉石裂隙中或粒间，常见褐铁矿交代，有的交代彻底已氧化殆尽，有的则呈交代残留结构。黄铁矿呈浸染状、星点状、团块状或细脉状分布，大致可分为三期：一期自形-半自形，二期他形-他形集合体状，并见熔浆包体，三期为脉状，或同石英共同胶结充填岩石晚期裂隙，呈石

英-黄铁矿细脉。在镜下可发现黄铁矿中包裹金（图 3.9）。黄铁矿化在高丽沟 0 号矿体和穷棒子沟 I 号矿体中都可以看到。

黄铜矿：矿石中的铜矿物镜下常可见到。其主要为黄铜矿，通常被铜的次生矿物辉铜矿、铜兰交代，有的进一步氧化形成赤铜矿、自然铜等。但含量少，铜矿物只占矿物含量的 0.12%，粒度粗细不均，多在 0.037~0.074mm 区间，占含量的 51.2%，小于 0.01mm 占 4.3%，其小于 0.01mm 的黄铜矿主要呈乳滴状的固溶体分离结构嵌布在闪锌矿中。在镜下可发现黄铜矿中包裹金（图 3.10）。在高丽沟 0 号矿体中黄铜矿化比较发育，而在穷棒子沟 I 号矿体中，黄铜矿化较为罕见。

石英：脉状产出，灰白色，块状构造，粒状结构。

方解石：呈脉状产出，为晚期蚀变产物。

方铅矿、闪锌矿：与黄铜矿、黄铁矿、石英等共同产出，与自然金密切相伴。

综上所述，黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石英与金成矿呈正相关性。

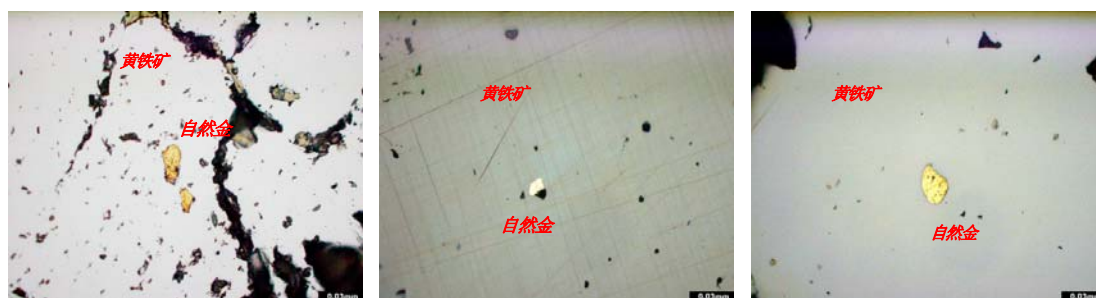


图 3.10 黄铁矿中包体金的反射光和单偏光照片



照片 3 浸染状构造（5-，JC1-6）照片 4 自形结构（5-，JC1-3）

3.3.5 矿石化学成分

对金厂矿区的高丽沟 0 号矿体和穷棒子沟 I 号矿体样品的分析结果显示，高丽沟 0 号矿体的矿石矿物组成以黄铜矿为主，其次为黄铁矿、方铅矿、少量的闪锌矿、自然金、银金矿等；而穷棒子沟 I 号矿体的矿石矿物组成主要为黄铁

矿，其次方铅矿、自然金、银金矿、黄铜矿等。高丽沟 0 号矿体的含矿岩体里 ω (SiO_2) 的含量为 60.72%~72.06%之间，平均值为 64.33%， ω ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 大部分介于 6.52%~9.19%之间，平均值为 7.21%，总体与成矿花岗斑岩成分一致；穷棒子沟 I 号矿体的含矿岩体里 ω (SiO_2) 的含量为 52.24%~75.67%之间，平均值为 60.98%， ω ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 大部分介于 3.96%~6.31%之间，平均值为 5.21%。可见，矿石中 SiO_2 、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 等成分与含矿岩体花岗闪长岩的成分一致。

由表 3.2 可知，高丽沟 0 号矿体矿石中主要的成矿元素 Au 含量为 $2.15\sim 11.075\times 10^{-6}$ ，Ag 最高 80.1×10^{-6} ，伴生 Cu 达 0.63%。穷棒子沟 I 号矿体矿石中 Au 含量为 $3.42\sim 41.41\times 10^{-6}$ ，Ag 为 7.16×10^{-6} ，铜含量较低，个别样品最高为 0.24%。矿石中还伴生有较高的 As、Pb、S 等。

表 3.2 金厂矿区中成矿元素含量表

监控样	Au (ng/g)	Ag (ng/g)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)	Mo ($\mu\text{g/g}$)	W ($\mu\text{g/g}$)	Co ($\mu\text{g/g}$)	Ni ($\mu\text{g/g}$)	Sb ($\mu\text{g/g}$)
JC1-2	7471.60	5063.00	172.09	439.82	1831.96	32.32	20.00	66.97	9.63	8.71
JC1-3	41410.00	7165.00	161.17	755.32	919.24	8.19	12.02	654.39	42.09	12.17
JC1-4	1313.20	917.00	2439.73	18.89	103.79	9.34	5.71	141.57	221.33	0.67
JC1-5	3424.00	6837.00	143.05	460.72	789.88	3.73	13.30	118.91	18.53	4.08
JC1-6	1580.80	1263.00	75.49	27.90	110.08	5.51	1.77	69.81	16.48	8.09
GLG4	11075.20	80101.00	390.13	1934.32	1637.56	2.65	23.09	176.99	62.93	69.06
GLG7	6545.20	6336.00	6686.53	49.97	118.72	145.31	2.10	240.24	92.78	2.13
GLG10	2150.50	5798.00	2776.93	7.61	72.41	4.91	2.02	68.93	46.12	1.04

3.4 成矿期与成矿阶段

3.4.1 成矿期与成矿阶段

通过对金矿体的产状、矿化蚀变组合以及相互之间的穿插关系，结合前人(张景海等，2002)研究成果，将金厂金矿床的成矿作用划分为燕山早期、燕山中晚期和表生氧化期等三个成矿期，并认为燕山早期金矿成矿与花岗斑岩有关，燕山中晚期金矿化主要受闪长玢岩侵入活动控制，晚期为表生氧化淋滤富集成矿期。各成矿期特征分述如下：

印支晚期—燕山早期金矿化作用 (191~200Ma)：与花岗斑岩有关的金矿成矿期。该期的偏酸性的火山-次火山岩浆在构造有利部位形成了爆破-隐爆角砾岩筒。加之后期的多次火山热液活动，造成了角砾岩筒的矿化蚀变胶结，蚀变的类

型主要为黄铁绢英岩化和硅化,且在局部地段含有黄铁矿化石英脉。根据矿化蚀变组合及相互穿插关系,该期成矿可以划分为两个阶段:①角砾岩筒蚀变矿化阶段;以八号硐 J-8 角砾岩筒金矿体为代表,其次在高丽沟 0 号和穷棒子沟 I 号等角砾岩筒金矿体也存在蚀变矿化;②第二阶段金矿化黄铁矿-石英脉阶段,该阶段的矿化比较很难观察到,只在八号硐-高丽沟的局部地段和金厂南山等地有所显示。

燕山中晚期 (103~115Ma): 与闪长玢岩有关的金矿成矿期,该期金矿化现象比较完整,在穷棒子沟、高丽沟、狍子沟、松树砬子等地都能观察到矿化蚀变的痕迹。该期分为四个矿化阶段:①对前期的角砾岩筒进一步矿化蚀变叠加,矿化类型主要以绢云母化、黄铁矿化、高岭土化为主,以穷棒子沟 I 号矿体角砾岩筒金矿化为代表;②石英-黄铁矿脉叠加矿化,以穷棒子沟 I 号角砾岩筒金矿体为代表;③多金属硫化物-石英脉叠加矿化,在穷棒子沟 I 号角砾岩筒金矿体中能见到;④黄铁矿(多金属)-方解石脉叠加矿化,该阶段的金矿化比较微弱,预示着该区金矿化的结束。

表生氧化富集期: 在矿体接近地表的地方常有氧化次生富集带,以褐铁矿化、蓝铜矿化和泥化为主,对金有明显的富集作用。以高丽沟 0 号角砾岩筒矿体的地表次生富集为代表。

通过前人对本区的深入研究,认为第二期是本区成矿的主要阶段,该期对金厂金矿的矿床规模具有很重要的作用,而第一期只在局部地段表现的较为明显。

3.4.2 金矿物种类及赋存状态

该区的金矿物主要以自然金或银金矿的形式赋存于矿石中的黄铜矿、黄铁矿晶格间或以包裹体形式产出。根据光谱半定量分析,硅酸盐全分析、岩矿石全分析及矿石组合分析结果:矿石中含有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、V、Co、Fe、Mg、Na 等多种元素,只有 Au、Ag、Cu 能被工业利用。

3.5 围岩蚀变特征

该区为侵入岩区,地层出露很少,只有零星侏罗系中统地层出露。区内赋矿围岩主要有斜长花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、闪长岩、闪长玢岩等。岩石蚀变比较普遍,主要有硅化、绢云母化、冰长石化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化、高岭土化、钾长石化、褐铁矿化等。高丽沟 0 号矿体的围岩为花

岗斑岩，蚀变类型为绿帘石、绿泥石化、硅化、黄铁矿化、黄铜矿化等；穷棒子沟 I 号矿体的围岩为花岗闪长岩、蚀变花岗岩，蚀变类型为钾长石、石英、绢云母、高岭土化等。

(1) 硅化：分布面积广，但蚀变强度不大，细粒石英呈鱼籽状集合体沿矿物解理或微细裂纹交代充填，部分或全部交待原岩中的斜长石和石英，或呈石英细脉产出，脉体曲直不均，宽窄不等。硅化的另一类型为玉髓化，镜下可见两个阶段玉髓，第一阶段玉髓胶结黄铁矿，呈栅状结构生长；第二阶段玉髓呈脉状发育于张性裂隙中。

(2) 绢云母化：是区内比较普遍发育的蚀变之一。区内岩石均有不同程度表现，以破碎带中较为发育，多呈聚集的鳞片状、星点状及条带状。其成因以热液交代为主，以花岗斑岩、花岗岩及角砾岩中分布多，闪长岩中亦有发育。

(3) 黄铁矿化：是本区主要矿化蚀变之一，各种岩石中均有分布，以构造破碎蚀变带内最为发育，以浸染状为主，呈他形粒状、细脉状沿岩石的节理或裂隙充填，构成 0.1~10mm 宽的细网脉。黄铁矿化具多世代：第一世代的黄铁矿化为中细粒他形晶，第二世代的黄铁矿化为中粗粒半自形晶，第三世代的黄铁矿化为中细粒他形晶。白铁矿含量仅次于黄铁矿，约占 25~30%，具有胶状构造，呈脉状分布。

(4) 碳酸盐化：是区内比较发育的蚀变之一，产状以细脉状或网脉状沿节理裂隙充填为主，亦有与黄铁矿、绢云母一起聚集呈团块状交代岩石或呈星点状分布于岩石中。镜下见方解石或文石呈不规则团块-云朵状交代充填几乎所有的造岩矿物或已经硅化、绢云母化的矿物。

(5) 绿泥石化：绿泥石化与石英、黄铁矿、碳酸盐组成脉状充填于破碎带中，亦有呈斑点状、不规则粒状分布于斜长石及钾长石的晶体中或其边缘。

(6) 钾长石化：普遍发育于斜长花岗岩类岩石中，呈不规则树枝状充填于石英间隙或晶隙中，或交代斜长石而成，岩浆穹隆型金矿体具较普遍的钾长石化。

(7) 青磐岩化：主要为绿泥石、碳酸盐、绿帘石、绢云母、石英、高岭土、黄铁矿等蚀变矿物组合。

矿区内蚀变有的单独存在，大部分为几种蚀变迭加在一起，形成蚀变组合分带。蚀变强弱各有不同，范围大小不等，且与金矿化具有成因、时间、空间关系。区内常见的蚀变组合有：钾化-硅化-黄铁矿化组合、硅化-绢云母化-黄铁矿化组

合（黄铁绢英岩化）、绢云母化-高岭土化组合及绿泥石化-碳酸盐化-绢云母化-黄铁矿化组合等。

第4章 矿床地球化学特征

为了深入研究金厂金矿床的地质特征,分析金矿化与中酸性岩浆活动的关系,探讨金矿成矿的地球动力学背景,笔者在野外调研中采集了大量的岩、矿石样品,选取具有代表性的样品进行了主量元素、微量元素和稀土元素含量的测定,并对其结果进行综合分析。

4.1 分析方法

金厂矿区中样品的主量、微量和稀土元素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。

4.1.1 主量元素的测定

主量元素的测定采用 X 荧光光谱(XRF)玻璃熔片法。先将岩石的粉末样品在105℃预干燥 4个小时,然后放置于干燥器内,冷却至室温。称取在105℃烘干的样品和混合溶剂于铂金坩埚,再置于高频感应熔样机中,打开电源,在微机控制下选择需要的程序进行全自动操作。在 1000℃下使样品充分混匀,驱赶气泡,冷却成玻璃熔片,然后放入日本RIGAKU公司生产的 RIX2100型 XRF上进行测定。检出限除SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、TFe₂O₃小于0.1%,其余均小于0.05%。

4.1.2 微量元素的测定

微量元素采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)分析。分析样品的制备采用混合酸溶样法完成。以下为具体的制样过程:①用天平(准确度为十万分之一)称取50mg的样品装入Teflon 溶样弹中;②将高纯度的HNO₃、HF和HClO₄加入到溶样弹中,把溶样弹置于电热板上,在140℃温度下开盖并加热蒸干,除去大部分的 SiO₂;③再次加入高纯度的 HNO₃和 HF,把加好酸的溶样弹装入到钢套中,待钢套冷却之后拧紧,置于烘箱中。在 190℃温度下烘烤48个小时;④打开烘箱,待钢套冷却后,将溶样弹拿出,置于电热板上,在140℃温度下开盖并加热蒸干;⑤加入2ml的高纯度HNO₃,置于电热板上,在140℃温度下开盖并加热蒸干,以除去残余的HF;⑥再次加入2ml的1:1HNO₃,把加好酸的溶样弹装入到钢套中,待钢套冷却后拧紧,置于烘箱内,在190℃温度下烘烤12个小时,以保证对样品的完全提取;⑦打开烘箱,待钢套冷却后,将溶样弹拿出,并擦干净,定溶(把溶样弹中的提取液倒入事先洗好的聚乙烯塑料瓶中,加入1克铑内标,最后加入水稀释至 80ml)。

最后配制好的样品溶液在美国 Perkin Elmer 公司生产的具有动态反应池的 Elan 6100 DRC 型质谱仪上进行测定。

4.2 主量元素特征

该区地势为中低山区，气候属中温带，受海洋气候的影响，区内土壤发育，植被发育，覆盖层较厚，山坡以残坡积物为主，由粘土、砂土、砾石等组成，属森林景观区。矿区金元素在侏罗系地层及华力西晚期侵入岩（花岗岩、闪长岩、粗粒花岗岩、花岗斑岩）中含量较高，离差较大，浓集比例大于1，表现为富集状态。

为了能把主要元素的数据应用在地球化学中，地球化学家主要在三个方面利用主要元素数据：岩石分类、构筑协变图解和作为与实验确定的岩石成分进行对比的手段^[70]。岩石主要化学元素及相关参数见表4.1，高丽沟地区的 $\omega(\text{SiO}_2)$ 含量变化范围在60.72~72.06%之间，平均值为64.33%。 $\omega(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 大部分介于6.52~9.19%之间，平均值为7.21%， $\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{K}_2\text{O})$ 的比值集中在2.40~3.64， $\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{K}_2\text{O})$ 的比值大部分都大于1，穷棒子沟地区的 $\omega(\text{SiO}_2)$ 含量变化范围在52.24~75.67%之间，平均值为60.68%。 $\omega(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 大部分介于3.96~6.31%之间，平均值为4.96%， $\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{K}_2\text{O})$ 的比值为0.02~2.44，平均值为1.16， $\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{K}_2\text{O})$ 大于1，具有由陆壳沉积物熔融形成的S型花岗岩的特征。 $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 的含量在两个地区都比较高，高丽沟地区的平均值为16.40%，穷棒子沟地区平均值为15.88%。桑德(Shand, 1927)提出了根据岩石的 $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ 的摩尔比例，即“铝饱和指数”(ASI或A/CNK)进行岩石的分类。该区的 $\text{Al}_2\text{O}_3>\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}$ ， $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)/\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})=1.44\sim 3.53$ ，且 $\text{A/CNK}>1.1$ ，称之为过铝质岩石。由此结合这些岩石的矿物组合特征，这些岩体都具有S型花岗岩的特征。

在全碱-硅(TAS)图解(图4.1)中，从图上样品点所投的点，可以看出穷棒子沟地区的侵入岩主要为：石英闪长岩、花岗闪长岩和闪长岩等，而高丽沟地区的侵入岩主要为：辉长岩和碱性花岗岩等。该区岩石的里特曼指数 $[\delta=\omega(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})^2/\omega(\text{SiO}_2-43)]$ 为1.22~2.91($\delta<3.3$ ，为钙碱性岩)，属于钙碱性系列岩石。

表4.1 金厂金矿的代表性样品的主量元素分析结果

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI	Total	TF ₂ O ₃	岩性
GLG-2	72.06	15.18	0.22	0.75	0.74	1.22	8.53	0.66	0.05	0.10	0.34	0.38	100.22	1.05	花岗岩
GLG-3	63.89	17.78	0.64	1.99	2.46	2.48	4.60	1.92	0.06	0.18	0.46	2.99	99.47	2.85	石英岩
GLG-5	64.21	16.52	0.79	2.15	4.07	3.18	5.14	1.65	0.05	0.23	0.57	1.32	99.89	3.17	石英闪长玢岩
GLG-8	60.72	16.83	1.75	2.01	4.11	3.59	5.42	1.49	0.05	0.30	0.67	1.98	98.92	3.98	黑云钠长岩
GLGN	60.77	15.73	2.29	2.42	4.05	3.05	4.83	1.79	0.05	0.25	0.58	2.14	97.94	4.98	石英闪长岩
JCN	75.67	14.03	1.88	0.25	0.17	0.26	3.18	3.13	0.03	0.04	0.26	1.23	100.13	2.16	花斑岩
HJC-1	52.24	17.83	3.36	4.57	4.98	7.8	3.28	1.34	0.161	0.21	1	2.86	99.63	52.24	闪长玢岩
HJC-2	54.12	15.8	1.9	8.98	2.03	0.52	0.08	3.88	0.203	0.21	0.88	11.14	99.74	54.12	蚀变正长岩

注：HJC-1、2、3为引用前人数据

在 AFM 图解 (图 4.2) 中, 样品数据绝大部分均落在钙碱性系列的岩石区, 岩石富碱, 贫 Fe 和 Mg, 具有钙碱质岩浆演化的特点, 反映出岩浆分异演化由早期到晚期, 逐渐由富钠向富钾演化的总趋势。在 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中 (图 4.3), 样品都落在钾玄岩区和高钾钙碱性区内。综上所述, 根据以上的描述的特征加以推测, 本区所处的构造环境可能为火山弧。

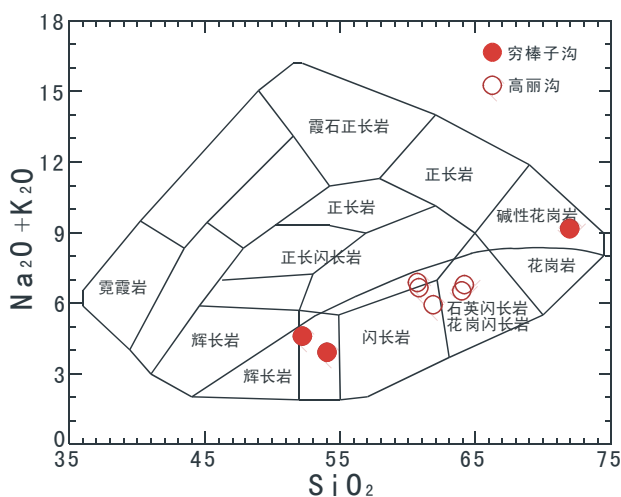


图 4.1 全碱-硅 (TAS) 图解

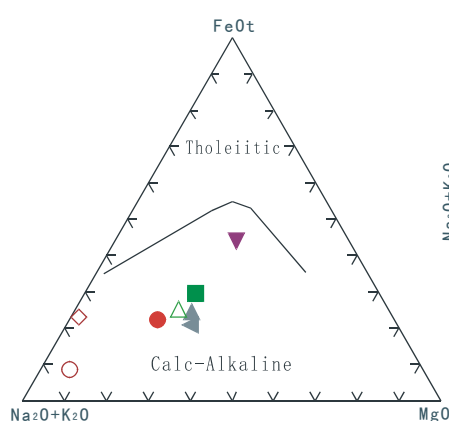
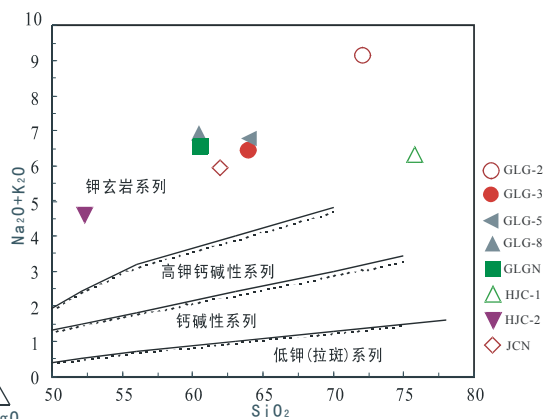


图 4.2 AFM 图解

图 4.3 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解

根据研究的需要, 有时选用某种氧化物作为参量, 以其他氧化物作因变量, 可以看出岩石的成分相关性和演化趋势等规律。本文选用 SiO_2 作为因变量, 做出 SiO_2 -氧化物含量变异图 (图 4.4), 从图中可以明显地看出, 伴随着 SiO_2 含量的逐渐增加, Al_2O_3 、FeO、 TiO_2 、CaO、 K_2O 、 Na_2O 呈现出下降的趋势, P_2O_5 、MgO 也呈现出轻微的下降低趋势, 由此说明每种氧化物跟 SiO_2 有较好的相关性, 表明岩浆分异在演化过程中的主导作用。通过 SiO_2 -氧化物含量变异图, 可以确认在本区岩浆演化过程中存在强烈的分异特征和演化趋势。

矿区岩浆岩的主量元素特征结合这些岩石的矿物组合特点, 这些岩体为过铝质、高钾钙碱性甚至钾玄岩系列的 S 型花岗岩, 具有造山后岩浆作用的主要岩石学特征, 与造山后伸展作用紧密相关。

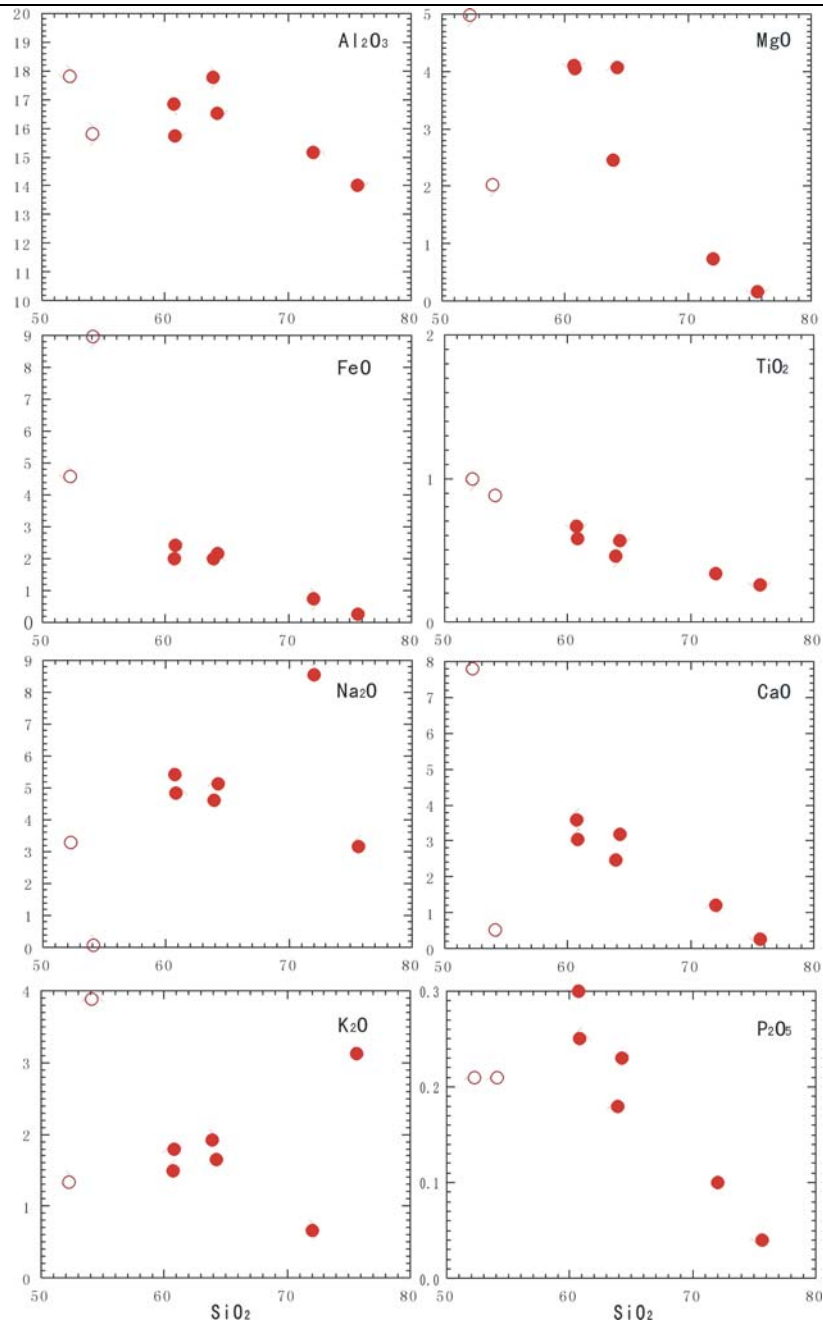


图 4.4 研究区岩浆岩的 Harker 图解

4.3 微量元素地球化学特征

微量元素研究已经成为现代岩石学的一个关键组成部分，比主量元素更能有效地区分岩石成因过程。微量元素地球化学的任务之一，就是要查明哪些地质过程具有这种促使元素间分馏效应并对其影响的才程度进行定量研究^[70]。来自不同源区的岩浆，在微量元素特征上势必会留下源区的烙印，因此可以利用火成岩中微量元素的特征来示踪岩浆源区的组成与特征，进而分析岩浆形成的构造环境。

4.3.1 微量元素地球化学特征

金厂矿区区域内侵入活动比较强烈,侵入岩分布广泛,占区域面积的44%,以中深成花岗岩类为主,岩石类型为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、白岗质花岗岩,其次为辉石闪长岩、闪长岩等。各种岩(矿)石类型的微量元素分析结果见表4.2。

根据金厂金矿床微量元素的分析测试数据(表4.2),分别作出稀土元素配分模式和微量元素蛛网图(图),由此来讨论其成因特征。

表4.2 金厂金矿代表性样品的微量元素分析结果

样品号	GLG-2	GLG-3	GLG-5	GLG-8	GLGN	HJC-1	HJC-2	JCN
岩性	花岗岩	石英岩	石英闪长 玢岩	黑云钠长 岩	石英闪长 岩	闪长玢岩	蚀变正长 岩	花斑岩
Rb	22	59	64	61	66	83.5	95.8	95
Ba	38	157	181	157	203	168	230	504
Th	9.2	2.2	1.4	2.1	1.5	1.71	2.37	8.0
U	1.1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.89	1.20	1.5
K	0.55	1.59	1.37	1.24	1.49	2.60	1.11	3.22
Ta	0.48	0.29	0.23	0.25	0.22	0.26	0.28	0.51
Nb	4.2	4.3	3.1	3.5	3.6	3.86	4.58	7.6
La	4.2	3.9	7.5	22.2	9.1	14.2	2.4	22.8
Ce	11.4	7.0	14.3	44.8	16.1	33.0	7.1	50.0
Nd	8.0	3.7	6.9	19.6	7.5	18.5	4.8	25.1
P	0.04	0.08	0.10	0.13	0.11	0.02	0.09	0.09
Dy	1.45	0.64	1.11	2.30	1.64	3.65	1.58	5.94
Zr	128	97	112	137	111	104	140	251
Hf	4.78	3.10	3.97	4.88	3.46	2.74	3.48	7.53
Sm	1.62	0.78	1.30	3.51	1.65	4.41	1.45	5.41
Ti	0.20	0.28	0.34	0.40	0.35	0.16	0.60	0.53
Y	8.3	4.4	6.1	11.6	9.3	21.78	10.67	33.7
Yb	0.96	0.29	0.42	1.11	0.81	1.89	1.40	3.78
Lu	0.17	0.05	0.08	0.14	0.14	0.32	0.25	0.55
Pr	1.73	0.84	1.70	5.22	1.87	3.90	0.94	6.39
Eu	0.29	0.39	0.53	1.03	0.58	1.35	0.46	0.88
Gd	1.61	0.77	1.29	3.15	1.72	3.64	1.33	5.21
Er	0.92	0.42	0.53	1.11	0.97	1.87	1.06	3.72
Tb	0.27	0.12	0.22	0.46	0.32	0.53	0.22	0.98
Dy	1.45	0.64	1.11	2.30	1.64	3.65	1.58	5.94
Ho	0.32	0.13	0.19	0.40	0.31	0.78	0.37	1.16
Tm	0.16	0.05	0.07	0.16	0.13	0.30	0.19	0.59
ΣREE	33.10	19.08	36.14	105.19	42.84	88.34	23.55	132.51
LREE	27.24	16.61	32.23	96.36	36.80	75.36	17.15	110.58
HREE	5.86	2.47	3.91	8.83	6.04	12.98	6.40	21.93
LREE/HREE	4.65	6.72	8.24	10.91	6.09	5.81	2.68	5.04
La _N /Yb _N	3.14	9.65	12.81	14.35	8.06	5.39	1.23	4.33
δEu	0.54	1.52	1.24	0.93	1.04	1.00	0.99	0.50
δCe	1.04	0.90	0.94	0.99	0.91	1.07	1.16	1.00

注: HJC-1、2 为引用前人数据

由表4.2可以看出,高丽沟地区的 ω (LREE)介于16.61~96.36之间, ω (HREE)介于2.47~8.83之间, ω (LREE)/ ω (HREE)的比值为4.65~10.91,轻稀土分馏作用相对于重稀土明显高,表明轻稀土相对富集; δ Eu总体介于0.54~1.52之间,显示出中等Eu负异常到正异常的过渡特征,由此表明铈的负异常不是非常明显。大部分样品中 δ Ce<1,说明稀土元素

总量偏低,说明在水-岩交代作用中,稀土元素被淋滤-流失,活动性能低。

穷棒子沟地区的 ω (LREE)介于17.15~110.58之间, ω (HREE)介于6.40~21.93之间, ω (LREE)/ ω (HREE)的比值为2.68~5.81,表明轻稀土分馏作用相对于重稀土比较高,轻稀土相对比较富集; δEu 总体介于0.50~1.00之间,铕的负异常比较明显,表明斜长石发生分离结晶。样品的 δCe 总体大于1,说明稀土元素被淋滤流失多,活动性能较高。

从稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图4.5)可以看出,高丽沟地区的轻稀土总体上比较陡,而重稀土比较平缓,呈现出右倾或轻微右倾的趋势,没有明显的铕异常,表明斜长石未发生明显的分离结晶作用;从图上可以看出这四条曲线的形态基本呈平行状,由此反映出高丽沟地区的闪长岩、闪长玢岩、花岗岩的同源性,及其构造环境的相似性。

由表4.2和微量元素蛛网图(图4.6)可以看出,高丽沟0号矿体具有明显低Nb、Y和高 $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 比值的特点,高丽沟地区岩浆岩Rb、Th等大离子亲石元素含量高, $\text{Rb}=22\times10^{-6}\sim66\times10^{-6}$, $\text{Th}=1.4\times10^{-6}\sim9.2\times10^{-6}$, $\text{Ba}=38\times10^{-6}\sim203\times10^{-6}$,相当于原始地幔的数十倍,由此说明岩浆经历了较高分异演化。

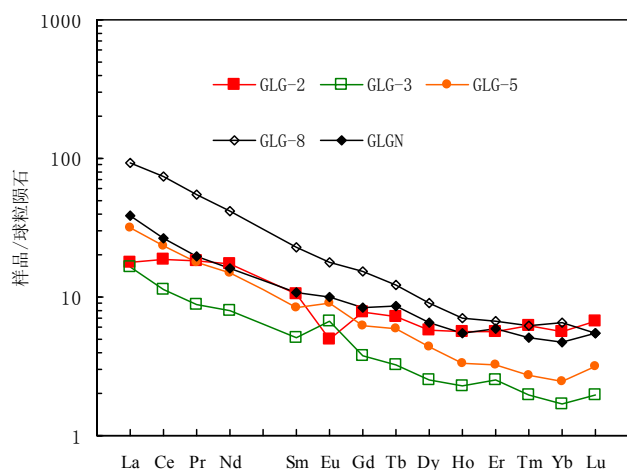


图 4.5 高丽沟稀土元素球粒陨石标准化分布形式图

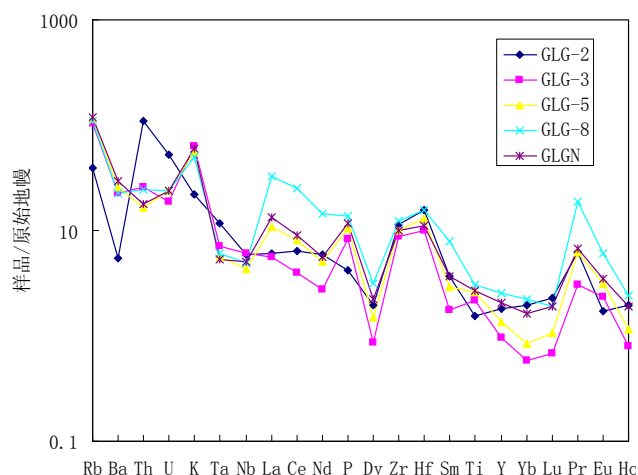


图 4.6 高丽沟微量元素原始地幔标准化蛛网图

从稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图4.7)可以看出,穷棒子沟地区的轻、重稀土总体上比较平坦,岩体中的重稀土相对于轻稀土没有明显的亏损,说明深部不存在石榴子石残余矿物。没有明显的铕负异常,表明斜长石未发生明显的分离结晶作用;从标准化蛛网图(图4.8)上可以看出穷棒子沟地区具有明显的高Rb、Zr和负Nb的特点,而 $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 的比值相对于高丽沟地区比较低。

从本区的主量元素分布特征上可知,该区的火成岩属于钙碱性岩浆,而与板块俯冲带有关的火山弧岩浆主要属钙碱性系列^[26]。综上所述,所测的样品,已经能基本上代表汇聚板块

边缘环境。高丽沟地区和穷棒子沟地区的样品在其蛛网图上均出现明显的Nb亏损，而许多大陆边缘和大陆钙碱性火成岩均具有此特点，因此，缺失Nb的元素蛛网图特征反映了大陆地壳中的地幔物质来源信号。因此在成因上，火山弧岩浆作用并非来自俯冲大洋板块的直接部分熔融，而与脱水流体交代后的地幔楔部分熔融有关。

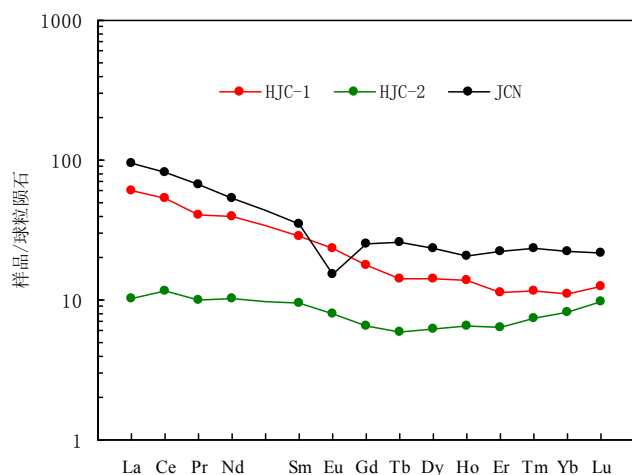


图4.7 穷棒子沟稀土元素球粒陨石
标准化分布形式图

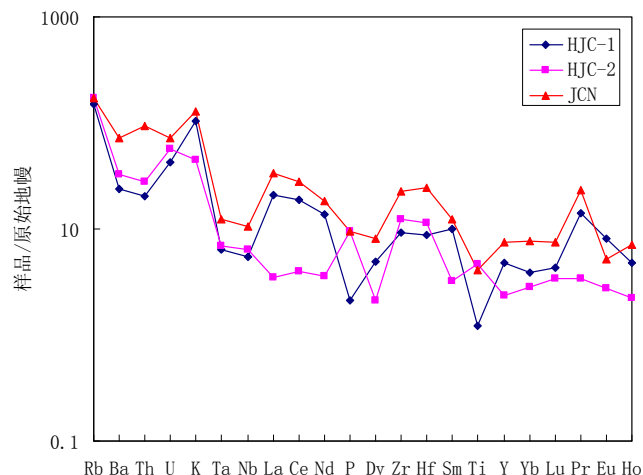


图4.8 穷棒子沟微量元素原始地幔
标准化蛛网图

在 Rb-Y+Nb 图解（图 4.9）中显示，投入的点都落到了火山弧花岗岩类区内，中生代期间，由于东北地区存在太平洋板块的俯冲作用，这种俯冲作用可能导致其熔融源区受到影响。而研究区位于火山弧构造环境中，所以总体上应该属于岛弧-活动陆缘环境。

在 FeOt-MgO 图解（图 4.10）中，投入的点大部分都落到了 IAG+CAG+CCG 区域内（由于 HJC-1、2 的 SiO_2 含量小于 60%，故未参与投图），其中 IAG+CAG+CCG 为造山花岗岩类；在 R1-R2 因素判别图（图 4.11）中，投入的点大部分落到 3 区，即碰撞后隆起区域内。

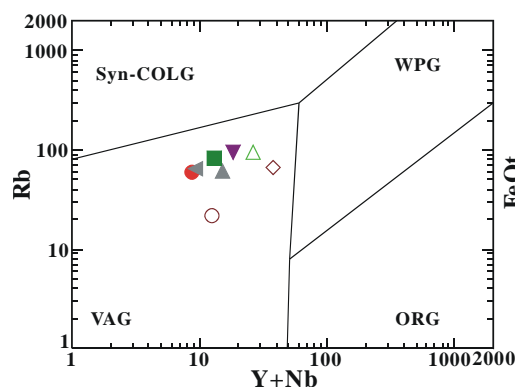


图 4.9 Rb-(Y+Nb)图解

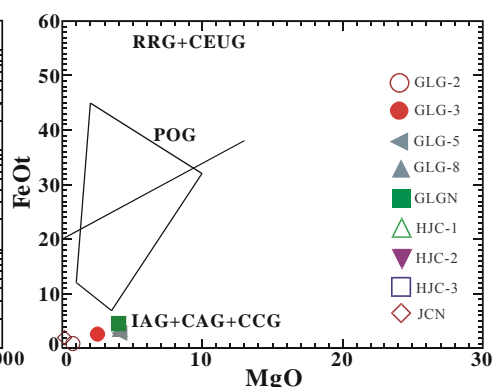


图 4.10 FeOt-MgO 图解

花岗岩类岩石从构造的角度可分为造山花岗岩和非造山花岗岩两大类，而从物源的角度进一步可归纳为 M 型花岗岩、I 型花岗岩、S 型花岗岩和 A 型花岗岩 4 种成因类型（岩石学，路凤香等，2002）。本区的侵入岩主要由花岗岩类组成，尽管花岗岩可能产于不同的构造背景

中，如大陆边缘火山弧和大洋板块等，但大体积的岩体主要出现在大陆地壳中。花岗岩类是地球大陆最具有代表性的岩浆作用产物，花岗岩的成因与大陆地壳演化有密切的相互关系。

结合前人的资料和以上的实验数据处理和分析，再结合表 4.3 的对比，该区的花岗岩是一种过铝质岩石（该区的 $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ ， $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) / \omega(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}) = 1.46 \sim 2.14$ ，且 $\text{A/CNK} > 1.1$ ），前人认为在陆-洋碰撞过程中将产出蛇绿岩以及基性-超基性和中酸性岩浆侵入活动及局部的火山喷发^[76]，而本区的侵入岩主要为中深成和中酸性侵入岩，与前人所认为的陆-洋碰撞特征相吻合；且从 $\text{Rb}-(\text{Y}+\text{Nb})$ 构造环境判别图解和 FeOt-MgO 图解的投图结果表明，该区的花岗岩主要分布在火山弧-碰撞后隆起区域内。综合上述特征，可以判定该区的花岗岩类型属于 S 型花岗岩。许多研究者经过进一步的研究，往往将 S 型花岗岩视为代表造山带挤压构造背景的专属性岩石。

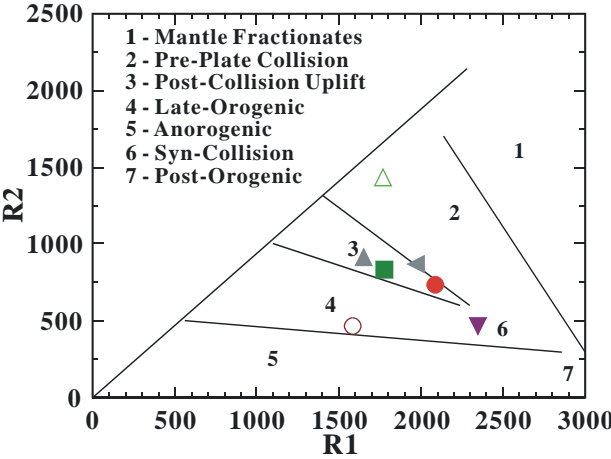


图 4.11 R1-R2 因子判别图

$\text{R1} = 4\text{Si} - 11(\text{Na} + \text{K}) - 2(\text{Fe} + \text{Ti})$; $\text{R2} = 6\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{Al}$
1-地幔分异产物；2-板块碰撞前；3-碰撞后隆起；4-造山晚期；5-非造山；6-同碰撞；7-造山后

表 4.3 花岗岩产出的构造背景及其地球化学和岩石学特征及成因

构造背景	造山环境			过渡环境	非造山环境	
	岛弧	大陆弧	陆-陆碰撞	后造山隆起和 裂陷	大陆裂谷	大洋中脊大洋 岛屿
地球化学类 型	M, I+M	I>S	S	S, I, A	A	M
构造环境类 型*	IAG: 岛弧花 岗岩	CAG: 大陆弧花 岗岩	CCG: 大陆碰撞 花岗岩	POG: 后造山花 岗岩	RRG: 与裂谷有关的花岗岩 CEUG: 与造陆和热点有关 的花岗岩	OP: 大洋斜长花 岗岩
主要岩石系 列	钙-碱>拉斑 玄武岩	钙-碱	钙-碱	钙-碱	碱性	拉斑玄武岩
铝饱和指数	偏铝质	偏铝质-弱过铝 质	过铝质	偏铝质-过铝质	过碱质	偏铝质
典型岩石类 型及组合	石英闪长岩 (成熟岛 弧)	英云闪长岩和花 岗闪长岩>花岗 岩或辉长岩	混合岩和浅色 花岗岩	双峰式花岗闪 长岩+闪长岩- 辉长岩	花岗岩, 正长岩+闪长岩- 辉长岩	斜长花岗岩
伴生火山作 用	岛弧玄武岩 -安山岩	大量安山岩和英 安岩	常缺失	玄武岩和流纹 岩	碱性熔岩, 凝灰岩及火山口 充填	MORB, OIB
主要岩浆成 因	幔源基性岩 浆垫托作用	幔源基性岩浆垫 托+陆壳混染作 用	地壳物质再循 环的部分熔融	上地壳+下地壳 和地幔部分熔 融	地幔和/或下地壳无水部分 熔融	地幔部分熔融 和分离结晶作 用
主要熔融机 制	俯冲带脱水流体交代地幔楔, 地 幔楔部分熔融		地壳构造增厚 和放射性产热	地壳放射性产 热和地幔底辟 上升加热	热点和/或地幔热柱上升	

注：引自地球化学，陈俊，王鹤年主编，北京：科学出版社，2004：362（*据 Maniar et al.,1989）

4.3.2 成矿元素组合及其指示意义

用 SPSS.13 软件对高丽沟 0 号矿体和穷棒子沟 I 号矿体的微量元素进行了相关系数分析。计算结果（表 4.4）表明，矿石中 Au 与 Co、Pb 呈正相关关系，相关系数大于 0.5，表明 Au 与 Co、Pb 这两个元素有着较为密切的成因关系，与 Co 的关系更为明显；Ag 与 Pb、Zn、W、Sb 这几个元素也呈正相关关系，相关系数也大于 0.5。其他元素之间的相关系数较低，小于 0.5，相关性并不十分明显，其总体特征与矿区矿化体中微量元素之间的相关系数较为接近。

表 4.4 矿石中微量元素相关系数

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Co	Ni	Sb
Au	1.00									
Ag	0.250	1.00								
Cu	-0.001	-0.010	1.00							
Pb	0.513	0.933	-0.140	1.00						
Zn	0.494	0.631	-0.170	0.804	1.00					
Mo	0.027	-0.077	0.827	-0.142	-0.057	1.00				
W	0.383	0.620	-0.219	0.757	0.851	-0.106	1.00			
Co	0.945	0.193	0.198	0.421	0.348	0.168	0.246	1.00		
Ni	0.055	0.117	0.549	0.049	-0.058	0.223	0.003	0.242	1.00	
Sb	0.323	0.984	-0.107	0.953	0.680	-0.133	0.643	0.244	0.070	1.00

4.4 成矿流体特征

4.4.1 成矿物质来源

根据研究资料表明，矿石中与金矿物共生的大量硫化物中的 Pb 和 S 主要来源于深部地壳，部分来源于上地幔，它是深源岩浆分异演化-上侵作用过程中从地壳深部带入的成矿物质。而在矿区微量元素地球化学研究中发现，无论在矿石或是黄铁矿单矿物中，Au 与 Co、Ni 呈正相关关系，表明 Co、Pb 元素参与了金矿成矿作用的整个过程，为热液蚀变，成矿过程中的带入元素，而 Co、Pb 主要来自丰度较高的深部地壳。

在成矿作用中，作为金源的另一种途径是:在中生代构造岩浆活化过程中，元古界黄松群变质岩系及早期侵入岩系构成的陆壳基底在深源作用过程中，把金等成矿物质带入燕山期岩浆中，而岩浆分异上升过程中，热液还有可能从构造通道附近的围岩中淋滤出金等成矿物质。

4.4.2 成矿流体特征

本文研究中，作者选取了高丽沟 J-0 号角砾岩型矿体作为包裹体实验的样品，样品取自含角砾黄铁矿化的石英脉。运用英国 Linkam 公司生产的 THMSG600 型冷热台对包裹体进行了均一及冷冻法测温研究，流体包裹体测温结果见表 4.5。

由表看出，金厂金矿床高丽沟矿体矿石石英中的流体包裹体类型主要为含子矿物三相包裹体，在室温下为气相、液相和子晶矿物，包裹体大小为 10~18 μm ，其中个别大于 20 μm ，气液比为 20~60%之间，呈椭圆或近似椭圆状。将该类包裹体冷冻在-80℃以下使其完全冻结，回温过程中观察到冰点对应热液盐度（图 4.12）为 35.92~43.75 wt%；包体均一温度变化范围为 407~654℃之间，温度基本集中（图 4.12）在 500~800℃之间。根据所测得包裹体均一温度和盐度值，可以计算处流体密度为 1.07~1.08 g/cm³，成矿压力为 36.07~140.02 Mpa，主体集中在 36~60 Mpa 之间。

表 4.5 金属矿床流体包裹体测温结果

包体类型	大小 (μm)	气液比 (%)	V 子 (°C)	Thi (°C)	T 子	S (wt%NaCl)	ρ (g/cm ³)	Ps(MPa)
含子矿物三相包体	14	30	50	573	274	36.15	1.08	40.09
含子矿物三相包体	10	25	50	599	277	36.35	1.08	41.91
含子矿物三相包体	14	30	45	512	286	36.95	1.08	47.74
含子矿物三相包体	14	55	40	560	377	43.75	1.07	140.02
含子矿物三相包体	10	60	20	>800	294	37.50	1.07	53.41
含子矿物三相包体	12	30	50	>800	288	37.09	1.07	49.12
含子矿物三相包体	24	45	30	542	269	35.92	1.08	37.18
含子矿物三相包体	18	30	45	407	267	35.77	1.08	36.07
含子矿物三相包体	15	50	30	>800	308	38.50	1.07	64.46
含子矿物三相包体	12	25	25	>800	302	38.06	1.07	59.55
含子矿物三相包体	14	60	25	654	297	36.48	1.07	55.66
含子矿物三相包体	15	55	25	>800	287	37.02	1.08	48.43
含子矿物三相包体	10	55	10	>800	305	38.28	1.07	61.97
含子矿物三相包体	18	40	20	583	296	37.64	1.07	54.90

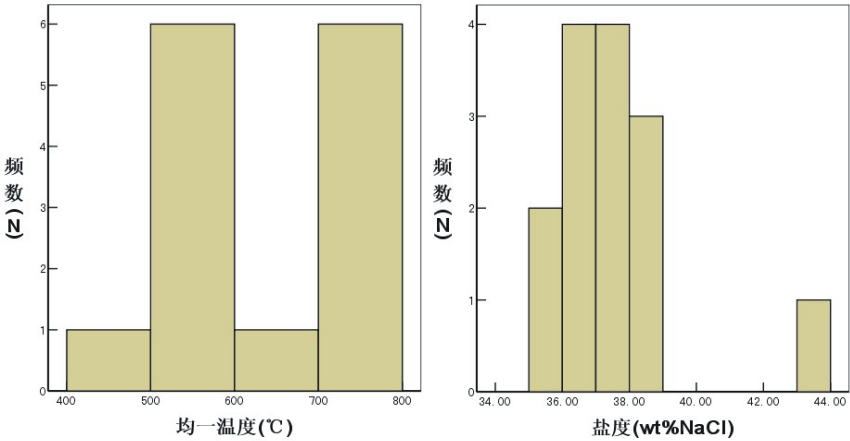


图 4.12 高丽沟 0 号矿体包裹体均一温度和盐度直方图

前人在流体包裹体方面曾做过大量研究工作。对前人的数据资料的总结发现，该矿床矿石石英中包裹体种类繁多，类型包括气相包裹体、液相包裹体、含子晶多相包裹体和熔融包裹体等多种。金厂矿区流体包裹体的一个突出特点就是含固相子矿物的多相包裹体特别发育，且子矿物的类型比较多，有时一个包裹体中所含的子矿物能达到4~5个，大部分情况下还会伴随有富气相的包裹体。

李高生等（2003）提出金矿成矿主要与次火山岩相的闪长玢岩有关，并将成矿期划分为四个阶段：①角砾岩筒蚀变矿化；②石英-黄铁矿脉；③晶洞状多金属硫化物-石英脉；④黄铁矿-方解石脉。经过对半截沟 J-1 号矿体和高丽沟 J-0 号矿体进行了包裹体研究，认为金矿成矿环境主要为中高温、中等压力，成矿流体为具有中等偏高的盐度、弱碱性、弱还原的 $K^+-Na^+-Ca^{2+}-Cl^-SO_4^{2-}$ 型流体。贾国志等（2005）提出群体包裹体的液相成分 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子，气相成分主要是 CO_2 、 CH_4 及少量的 H_2 和 N_2 ；王永等（2007）提出单个熔流包裹体的挥发组分有 H_2O 、 SO_2 、 CH_4 、 CH_3 、 C_4H_6 、 C_6H_6 、 O_2 、 NO_3^- 、 CO_2 、 H_2S 、 CO_3^{2-} 以及 N_2 。金厂金矿床的岩浆演化过程比较完整，结晶分异作用完善，富含成矿物质和挥发组分，各种类型的包裹体代表了岩浆到热液演化各个阶段，表明该区成矿能力较强。

表 4.6 金厂金矿流体包裹体研究结果比较

取样地点	高丽沟 J-0 号矿体 (张宇等, 2008)	半截沟 J-1 号矿体 (李高生等, 2003)	半截沟 J-0 号矿体 (李高生等, 2003)	高丽沟 J-0 号矿体 (门兰静, 2008)	半截沟 J-1 号矿体 (门兰静, 2008)
类型	含子矿物多相包裹体、水溶液包裹体和富 CO_2 气相包裹体	纯液相盐水包裹体、气液相盐水包裹体、气相包裹体以及含 CO_2 包裹体、有机包裹体	盐水气液包裹体、气体包裹体	纯气相、气液两相、纯液相、含子晶的多相流体包裹体	纯液相盐水包裹体、气液相盐水包裹体、气相包裹体
均一温度	238-425℃	①角砾岩筒蚀变矿化 287-303℃②石英—黄铁矿脉 201-216℃③晶洞状多金属硫化物—石英脉 283-307℃④黄铁矿—方解石脉 84-97℃	①角砾岩筒蚀变矿化 406-445℃④黄铁矿—方解石脉 67-91℃	230-600℃	110-510℃
盐度	29.19-37.81%	①角砾岩筒蚀变矿化 4.95②石英—黄铁矿脉 7.32③晶洞状多金属硫化物—石英脉 5.00④黄铁矿—方解石脉 8.46	①角砾岩筒蚀变矿化 14.86④黄铁矿—方解石脉 3.56	2.57-35.99% 35.99-73.96%	5.41-9.6%
气体成分	H_2O 、 CO_2 等	CO_2 、 CH_4 、 H_2O 、 O_2 、 CO 、 H_2	CO_2 、 CH_4 、 H_2O 、 O_2 、 CO 、 H_2	H_2O 、 CO_2 、 N_2 、 C_4H_6 等	H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 O_2 、 CO 、 H_2
子晶矿物	石盐、钾盐、赤铁矿、磁铁矿	——	主要为立方体的 $NaCl$ 和 KCl 子矿物，少量含针状、柱状子矿物	石盐、钾盐、石膏、黄铜矿、电气石、磁铁矿（？）、黄铁矿（？）以及硅酸盐矿物等	$NaCl$ 和 KCl 子矿物为主，少量呈针状、柱状矿物
成矿压力	88-268bar 62-108bar	①角砾岩筒蚀变矿化 $970 \times 10^5 Pa$ ②石英-黄铁矿脉 $650 \times 10^5 Pa$ ，总体上属于中等压力环境	——	$61.1 \sim 799.5 (10^5) Pa$	$14.5 \sim 286 (10^5) Pa$
成矿深度	633-2736m	①角砾岩筒蚀变矿化 3.2km②石英-黄铁矿脉 2.1km	——	0.23~3km	0.054~1.0km

对比前人对金厂金矿的包裹体研究结果（表 4.6），作者测试的结果与前人的测试结果基本吻合。流体包裹体的研究表明，含矿流体成矿前，以高温、高盐度为主；成矿期，属于中高温、低盐度的流体。表明金厂矿区金矿矿体的成矿深度基本为浅成，穷棒子沟 I 号矿体的

成矿深度低于高丽沟 0 号矿体。

4.4.3 岩浆演化与含矿热液形成

中生代期间，由于太平洋板块与欧亚板块的俯冲碰撞，本区地壳重新活化。在区域构造岩浆活化作用的影响下，处于太平岭隆起与老黑山断陷过渡带的矿区深部，由于地幔热流的作用使陆壳下部产生选择性重熔，形成了同熔型或重熔型岩浆房，岩浆房中岩浆沿断裂上升，岩浆房进一步扩展，造成断陷盆地及相应的断裂系统的形成，岩浆上升到地表及浅部形成相应的印支末期火山岩（罗圈站组）及侵入岩（斜长花岗岩）。燕山期，随着区域构造的加强，深部岩浆继续分异演化，并沿着岩浆上升过程中形成的断裂系统或重新活动的早期断裂系统侵入地壳浅部，形成矿区多期次广泛侵入的浅成—超浅成中酸性岩体。

在岩浆分异演化的后期，深部岩浆房分异出的富含 H_2O 、 H 、 Cl 、 CO 、 CO_2 、 F 、 P 、 SO_2 等挥发份的岩浆在上侵至地壳浅中时，由于压力的骤降，导致岩浆迅速气化而分熔，气体在岩浆柱顶大量聚集，当气体内压力超过上覆围岩的外压时，引起气体在地下深处发生了强烈的爆炸，形成了矿区的隐爆角砾岩体。

随着岩浆分异上升至地表浅部快速冷凝的同时，在岩浆房顶部分异出含大量挥发分的超临界流体（岩浆后期热液），流体中包含大量的硫化物质及气水溶液，形成了含矿流体。在区域构造营力的引导下，岩浆房顶部的含矿流体便沿着向地表减压带运动，当流体上升到已被岩浆加热的深层地下水时，有部分地下水混入，形成了真正的含矿热液，这种含矿热液既含有从深部带来的硫化物质如： Au 、 Pb 、 Cu 等，同时又含有 S 、 CO_2 等丰富的矿化剂，使之具有从围岩中淋取 Au 等成矿物质的能力。

第5章 矿床成因讨论

5.1 成矿地质条件

金厂矿区在大地构造位置上位于吉黑东部太平岭隆起带与老黑山断陷交汇部位,该区岩浆比较活动频繁,构造发育(图1.1)。太平岭隆起带位于华北地台北缘,吉黑地槽褶皱带南缘,是太平洋板块与亚洲板块作用的产物。该带是中国北方主要的金矿集中区(赵春荆等,1996)。可见该区成矿地质条件极为优越,从现有资料看,该区发育有一条 70° - 250° 左右的构造蚀变带,宽30米左右,从八号洞到邢家沟,到穷棒子沟、狍子沟、松树砬子,该带延长3千米左右,已成型的I号、II号脉群、III号脉群、IV号、V号、VI号、VII号、VIII号、IX号、XI号、XII号、XIII号矿体,八号洞I号及高丽沟0号矿体均在该带上或其两侧。矿区主要有以下几组断裂构造: $255^{\circ}\angle 51^{\circ}\sim 56^{\circ}$ 、 $220^{\circ}\sim 225^{\circ}\angle 46^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 、 $200^{\circ}\angle 47^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 、 $200^{\circ}\sim 220^{\circ}\angle 60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 、 $120^{\circ}\angle 65^{\circ}$ 、 $150^{\circ}\sim 160^{\circ}\angle 56^{\circ}\sim 64^{\circ}$ 、 $285^{\circ}\angle 80^{\circ}\sim 85^{\circ}$,这几组断裂在空间展布上具有同心环状及放射状的特征,控制了区内脉状矿(化)体的产出与分布,为主要的控矿、容矿构造。从遥感解译的环形影像来看,柱状的角砾岩型矿体均与环形影像相吻合,因而在该区寻找相关的筒状、脉状矿体潜力巨大。

构造和岩浆活动为金厂矿区的主要控矿因素,其中构造为金厂矿区的成矿起着主导因素,岩浆因素作为决定因素对成矿起着一定的作用。

5.1.1 构造条件

断裂构造对金矿化的控矿作用

金厂矿区矿化密集区的分布完全受到断裂构造控制,矿区内重要的控矿断裂构造为 70° - 250° 方向断裂带,此断裂形成于元古代末期,受到后期构造运动的影响,经历了反复的挤压和拉张,并在燕山期岩浆侵入及金矿成矿过程中成为重要的控矿构造。这一断裂带控制了燕山期中酸性岩浆岩的侵入,同时又为金的来源和迁移提供重要的通道。因此,这一断裂带是金厂矿区燕山期侵入体和金厂矿床重要的定位构造。

这一断裂构造在燕山期岩浆演化侵位过程中,再次控制了燕山中酸性小岩体的侵位与空间分布,造成不同期次侵入岩体间出现了重要的接触构造带。随着岩体的凝固,在这一过程中又遭受到区域构造的影响,因此在其接触带构造的基础上,又产生了滑动、断裂、裂隙、破碎、角砾化等,形成接触-断裂破碎带等复合型构造,并使原始接触带构造的整体或局部受到了强化、扩大和加深。这在早期及晚期岩体中均有表现。这种叠加构造造成

接触带处于引张状态,这样导致含矿热液的渗入,这种构造成为造成金矿化的重要容矿构造。

火山构造控矿作用

火山-潜火山岩浆上侵地壳浅中部时,当岩体内压力还未超过其上覆围岩的压力时,岩石就会发生上拱变形,形成岩浆穹窿型构造,穹窿周边临界线形成同心环状断裂构造及放射状断裂构造。当局部压力骤降,导致岩浆迅速气化分熔,气体在岩浆柱顶大量聚集,气体内压力超过上覆围岩外压时,气体在地下深部发生强烈的爆炸,形成隐爆或爆破角砾岩体(艾霞,2002;宋得冒等,2002)。隐爆角砾岩体在金厂矿区的成矿作用过程中是重要的含矿热液通道和容矿空间,其规模、形态、产状直接控制了金矿化的规模、形态、产状。半截沟I号与高丽沟0号矿体是金厂矿区内的控矿火山构造,是构造岩浆作用的产物。

5.1.2 岩浆岩条件

综合研究认为,燕山期岩浆活动对金厂矿区的金矿化具有重要控制作用。金矿化在空间分布上明显受到岩浆活动的影响,其中燕山期中酸性小岩体的控制作用最为明显。在金厂矿区,裂隙充填型金矿化和蚀变岩型金矿化均分布在燕山期中酸性小岩体及其与围岩的接触破碎带内;隐爆角砾岩型作为金矿化的主体,它的形成与燕山期中酸性岩浆活动有着密切的成因关系。

金厂金矿的成矿作用与燕山期岩浆活动有着密切的联系。矿区内燕山期中酸性岩体(脉)类型较多,按侵入次序大体为:花岗闪长岩、斑状花岗岩、花岗斑岩→闪长岩、闪长玢岩、细粒花岗岩→闪长玢岩脉、流纹(石英)斑岩脉等。这些岩体(脉)在空间上共存,其地球化学性质、同位素组成特征等具可比性和继承性演化特点,推测很可能是同一地下岩浆房多次分异依次上侵的结果。金厂矿区金矿化的形成与燕山期多期侵入活动(花岗斑岩)有着密切的关系,成矿热液来源于岩浆分异演化后期的岩浆期后热液。

在成矿作用过程中,岩浆活动不仅直接携带大量成矿物质,而且其产生的巨大热能加热了深层地下循环水,使其有从早期围岩中淋滤金等成矿物质,重新迁移并加入到岩浆期后热液中,形成含矿热液。最终沉淀成矿。另一方面,岩浆活动还对金厂矿区的成矿提供有利的容矿空间。

5.2 矿化富集规律

金厂矿区金矿(化)体按照容矿构造、矿石特征及矿化形式不同,可分为四种类型:即岩浆穹窿型、隐爆角砾岩型、环状放射状裂隙充填型、接触带型金矿床。

隐爆角砾岩型金矿床是矿区内重要的金矿化类型，目前在矿区发现四个含矿角砾岩筒，分别位于矿区中部穷棒子沟 I 号、西部八号硐 1 号、高丽沟 0 号、邢家沟 IX 号，该类型金矿化富集形式为全筒式矿化，角砾岩体的形态、产状即矿体的形态、产状，矿在空间上呈筒柱状体，矿体规模大、矿化边界清楚、矿化连续、品位稳定，资源量集中等特点。穷棒子沟 I 号隐爆角砾岩型金矿体就是该类型的典型代表，矿体呈筒状产出，其长轴方向为 $245\sim 250^\circ$ ，延伸达 46m，短轴方向延伸达 30 米，控制深度为 540 m，矿体的平均厚度为 21.02 m，厚度变化系数为 165%，矿体品位为 8.10×10^{-6} ，品位变化系数 118%，控制（333）资源量为 15570 kg。矿体产于印支期花岗闪长岩中，位于隐伏的燕山晚期闪长玢岩形成的环形构造上部。矿体空间定位于环型隐伏浅成侵入岩体的中心部位，也是 SN、EW、NW 向断裂构造交汇部位。角砾岩体地质特征表明该角砾岩体为“侵入式”隐爆角砾岩体。此外，高丽沟 0 号矿体，为 Au、Cu 共生隐爆角砾岩型体。隐爆角砾岩型体资源量占矿区资源量 40%。环状放射状断裂构造-脉型金矿床，该类型金矿受半截沟大型环状构造控制。环状构造的直径为 1.1Km，主要控制了 II，II-1，II-2，II-3，II-4，V，VI，VIII，VI 等矿（化）体，矿体呈弧型展布，厚度较小。放射状构造在环状构造周侧相交分布，主要控制了 III，III-1，III-2，III-3，III-4，VIII，XII 等矿体。矿体走向延长小，倾向延深大。矿体于环状矿体近垂直相交，成群分布，规模较小。金矿化特点是由黄铁矿等含金硫化物矿物充填于岩石的裂隙构造中，矿化方式以充填方式给与围岩发生交代蚀变而成，该种类型金矿体具有矿化连续稳定，金品位较富，变化不大，矿体形态简单，边界清楚的特点，矿体呈简单脉状。产状与容矿裂隙一致，规模受容矿裂隙规模控制，长度几十米到几百米，厚度一般较小，厚度为 0.3-0.8 米左右，局部蚀变较强地段矿脉厚度可达 0.4-1.4 米，裂隙充填型金矿体资源量占矿区资源量的 60%。

岩浆穹隆型金矿床也是矿区内比较重要的金矿化类型，该类型金矿（化）体以在分布半截沟环形构造深部的 18 号矿体为代表，为隐伏矿体，共分为四层，分别为 18-1、18-2、18-3、18-4 号矿体，矿体由 17 个钻孔控制圈定，走向延伸近 800m，平均厚度为 6.7m。钻孔中大于 0.5×10^{-6} 的矿化超过几十米，最厚可达上百米，以层状或似层状产出。这种类型的矿化范围广且规模大。矿石以黄铁矿化、钾化、硅化、绿泥石化、绢云母化等矿化蚀变为主。

5.3 成矿年代学研究

成矿年代学是认识金属成矿省演化的计时钟^[47]，成矿地质年代学一直是矿床学研究的前沿课题。科学地划分成矿时代，研究成矿时代与区域乃至全球地质构造演化之间的关系，对于认识矿床成因、时空分布规律及预测矿床有着重要意义。在近十年的金矿研究中，金矿成矿年代学成为研究热点，国内外矿床学家几乎把当今所有测年法皆引入到了金矿定年工作

中^[48], 如蚀变矿物及石英的⁴⁰Ar-³⁹Ar 法和K-Ar法, 石英流体包裹体的Rb-Sr等时线法, 白钨矿的Sm-Nd等时线法和矿物-全岩Sm-Nd等时线法及单颗粒水热锆石、金红石、榍石、磷灰石的U-Pb法等^[46]。

5.3.1 样品制备及测试

1. 锆石的分选

本文中所需样品取自金厂矿区井下, 选取未发生蚀变的新鲜岩浆岩, 锆石分选在中科院廊坊地球化学研究所实验室完成, 样品经过机械性粉碎至80目后, 用摇床进行重矿物富集, 最后经过人工淘选, 在双目镜下手工进行挑选, 保证各样品的锆石颗数均大于1000粒。

2. 样品靶的制备和显微图像采集

本文样品的锆石制靶、阴极发光图像 (CL 图像) 采集在西北大学大陆动力学国家重点试验室完成。锆石 LA-ICPMS 分析样品靶的制备与 SHRIMP 方法相似 (宋彪等, 2002)。从双目镜下选择透明无包裹体无裂隙、晶形好、颗粒较大的锆石单矿物粘在双面胶上, 之后用无色透明的环氧树脂将其进行固定, 放置一段时间, 待环氧树脂固化后将其打磨并抛光, 达到暴露其内部结构剖面的目的, 这样就可以进行透射光和反射光图像的采集。最后将锆石靶镀金, 进行 CL 图像的采集。图像采集的仪器为CAMECASX51 型电子探针, 分析电压为50kV, 电流为15nA。

3. 年龄测定方法

锆石 U-Pb 同位素分析在西北大学地质系大陆动力学重点实验室完成。U-Pb同位素的测定采用 Agilent7500a 型 ICP-MS, 激光剥蚀系统为德国 MicroLas公司生产的GeoLas200M。该激光器的激光束斑直径可以在4~120 μ m范围内变化, 单脉冲能量可达210mJ, 最高频率为20Hz, 平均功率为4W。

作者在本次锆石的测定过程中所采用的激光束斑直径为30 μ m。在实验过程中采用He作为剥蚀物质的载气, 采用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610进行仪器最佳化, 以使仪器达到最高的灵敏度、最小的氧化物产率、最低的背景值和稳定的信号。采样的方式为单点剥蚀, 数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式。锆石U-Pb年龄的测定采用外标校正方法, 每隔5个样品分析点测一次标准, 以保证标准和样品的仪器条件完全一致。每5次锆石的分析前后各测2次NIST SRM610, 以Si做内标来测定锆石中U、Th和Pb的含量。锆石 U-Pb 同位素组成原始数据采集用 Glitter 软件 (rev.4.0, Macquarie University) 进行处理, 并应用Andersen (2002) 介绍的方法对Pb同位素组成进行普通Pb校正,

U-Pb谐和图和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的加权平均年龄用Isoplot (Ludwig K R,1992) 处理。

5.3.2 测试结果及分析

本文定年所需要的样品来自于高丽沟 0 号矿体的石英闪长岩和穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩, GLGN 样品的锆石 (图 5.1) 颗粒大小均一, 半自形到自形长柱状或短柱状, 裂隙较发育, 粒径 70-150 μm , 内部结构模糊不清, 振荡环带较明显; JCN 样品的锆石 (图 5.2) 大小不等, 粒径 50-200 μm 之间, 内部结构明显, 发育明显的振荡生长环带。

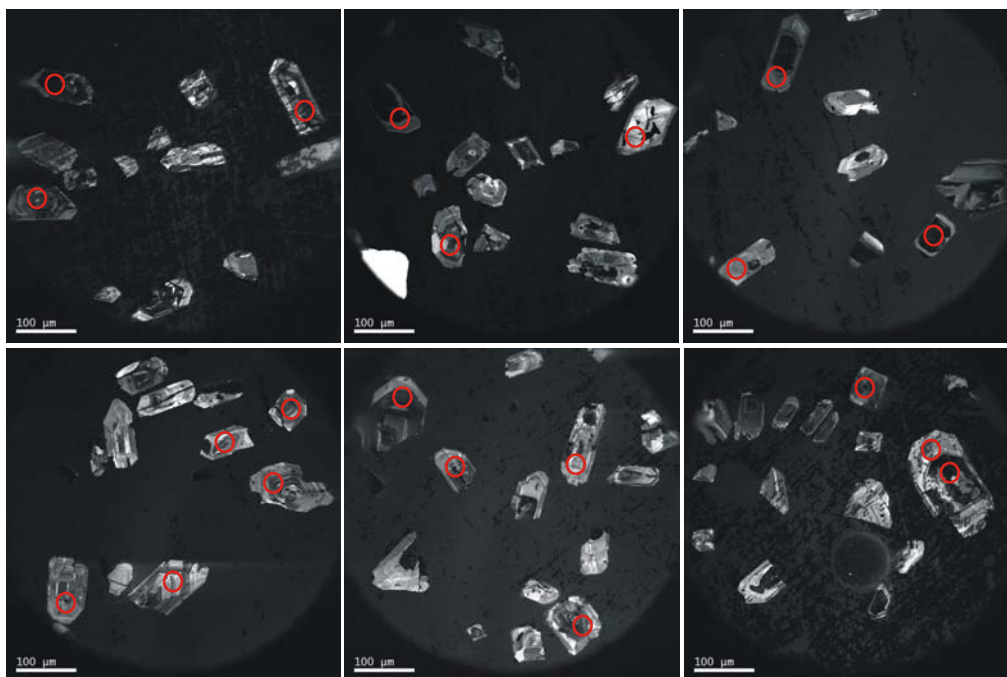


图5.1 高丽沟锆石CL图像

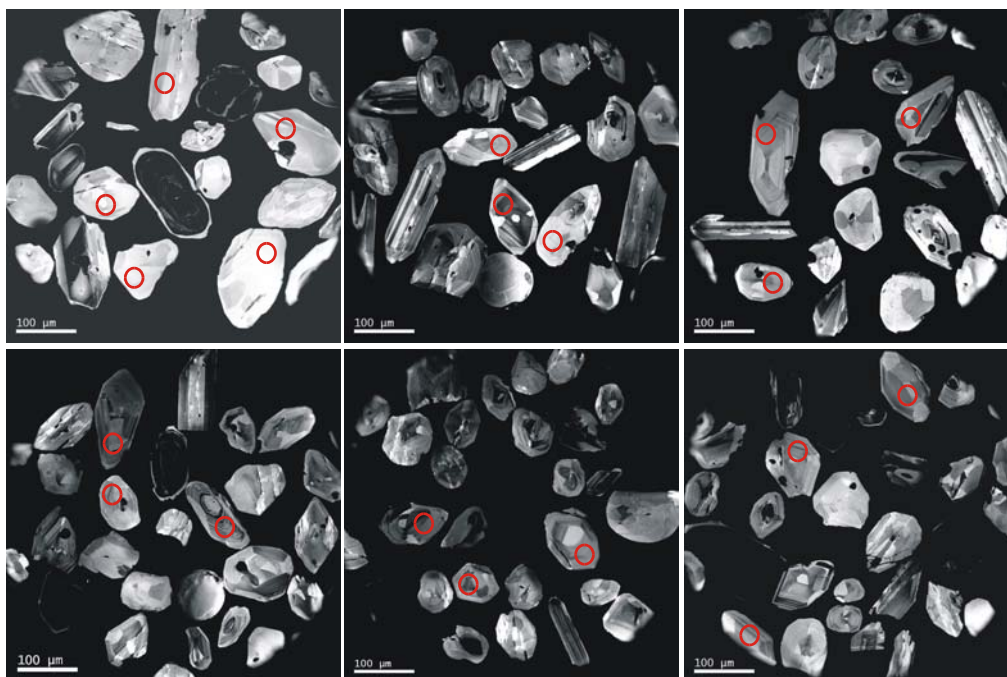


图5.2 穷棒子沟锆石CL图像

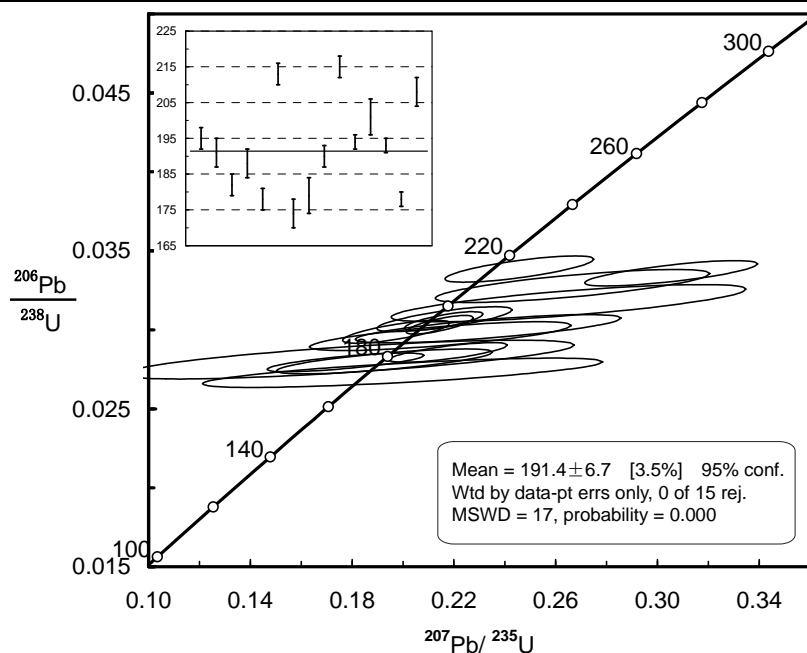


图5.3 高丽沟地区锆石U-Pb谐和年龄图

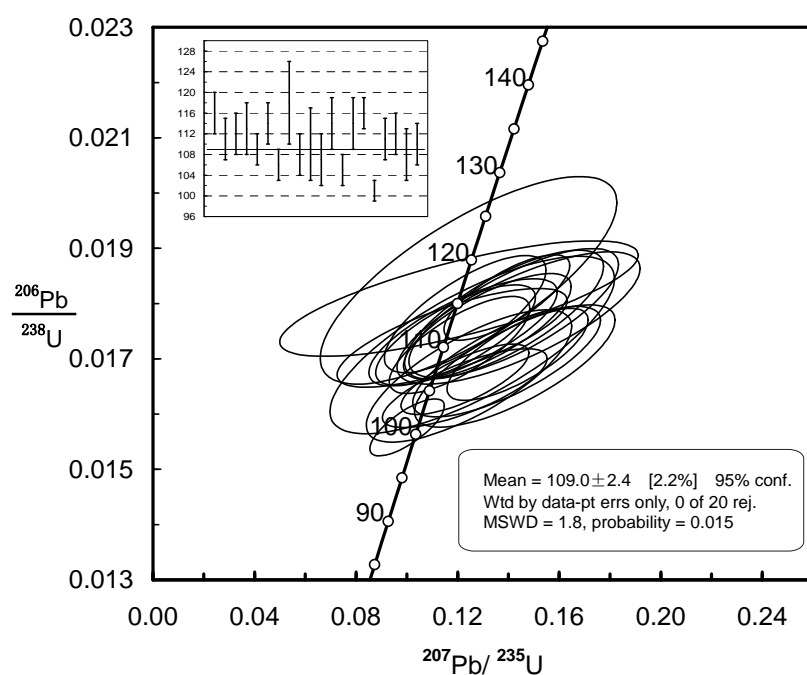


图5.4 穷棒子沟锆石U-Pb谐和年龄图

高丽沟0号矿体的石英闪长岩中的锆石比较复杂,环带现象不是很明显,有的为被溶蚀的残留锆石,有的中间带有暗色的条带。 Th/U 比值集中在0.49~1.00之间,符合岩浆锆石 Th/U 一般大于0.4^[69~70]的特征。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 介于178~215 Ma 之间,多数集中在180~200 Ma, 11个点的加权平均年龄为 (191.4 ± 6.7) Ma, $\text{MSWD} = 1.7$ (图5.3)。该样品的锆石全部位于谐和线上,代表了高丽沟0号矿体石英闪长岩的形成时代为侏罗纪。

穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩中的锆石 Th/U 比值介于 0.46~1.05 之间,具有岩浆锆石的属

性。从谐和曲线上看,样品中的分析点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近(图 5.2), MWSD 值低, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 介于 101~118 Ma 之间,加权平均年龄为 109.0 ± 2.4 Ma(图 4.2),代表了穷棒子沟 I 号矿体花斑岩的形成时代为白垩纪。

5.4 成矿地球动力学背景

5.4.1 金矿床的成矿期次

前人在有关金厂金矿年代学方面做过大量的同位素年代研究(表 5.1),有关金厂金矿床的形成时代一直都没有定论。金厂金矿的形成时代多数学者认为是燕山中晚期。贾国志等人(2005)根据区域地质体的相互穿插关系和同位素测年资料表明,矿区岩浆活动可分为 5 期:①印支早期闪长岩;②印支晚期-燕山早期含黑云母二长闪长岩、花岗闪长岩(163~216 Ma,全岩 K-Ar 法年龄);③燕山中期粗粒花岗岩(138 Ma,绢云母 K-Ar 法年龄);④燕山晚期花岗斑岩;⑤燕山晚期闪长玢岩(97.5 Ma,全岩 K-Ar 法年龄)。金矿成矿年龄为 119.40~122.536 Ma,与本区第四期花岗斑岩、石英斑岩及第五期闪长玢岩的年龄相近,认为金厂金矿化主要与燕山晚期的花岗斑岩和闪长玢岩岩浆活动紧密相关。李真真等(2009)对矿区 18 号矿体的 7 个钻孔岩心进行了详细的热液蚀变矿物组合分带和成矿时代研究认为成矿时代为 110 Ma 左右。另据门兰静等(2008)对半截沟 I 号脉的角闪闪长玢岩和花岗斑岩同位素数据统计,与成矿有关的脉岩和花岗斑岩的锆石年龄为 203.0 ± 3.6 Ma,成矿的时限大致为 190~210 Ma;表 4-1 为武警黄金部队对金厂矿区年龄各矿段 K-Ar 稀释法年龄统计表,从表中可以看出,矿床形成年龄的范围大致介于 97-216 Ma 之间,认为主要成矿年龄在 100-150 Ma(数据来自武警黄金部队)。

表5.1 金厂矿区主要地质体K-Ar稀释法年龄数据表

样号	样品名称	采样位置	K (%)	$^{40}\text{Ar}(\%)$	$^{40}\text{Ar}\cdot 10^{-10}\text{mol/g}$	$^{40}\text{Ar}/^{40}\text{k}$	视年龄 (Ma)
JB5	闪长岩脉(全岩)	八号硐矿段	1.28	27	2.2243	0.005823	97.5 \pm 1.1
JJ18	燕山晚期闪长玢岩(全岩)	半截沟矿段	0.41	44.4	0.9423	0.007701	127.9 \pm 2.6
97S2	燕山早期花岗闪长岩(全岩)	松树砬子矿段	2.28	9	6.7516	0.009922	163.2 \pm 1.8
97B5	印支期斜长花岗岩(黑云母)	八号硐矿段	6.17	4.6	24.601	0.013359	216.4 \pm 2.3
9708	蚀变矿石(绢云母)	松树砬子矿段	7.57	2.2	18.868	0.008352	138.3 \pm 1.4

*注:引自武警黄金部队

本文的新年代学结果表明,高丽沟 0 号矿体的石英闪长岩的年龄为 (191.4 ± 6.7) Ma,而穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩的年龄为 (109.0 ± 2.4) Ma,综合前人的资料和本人的实验结果,可以推断金厂金矿区的成矿至少有两期,即白垩纪和侏罗纪,因此金厂金矿的成岩成矿时代至少存在两期,而非前人所认为的单一成矿期。

另据杨言辰等研究, 黑龙江省主要金矿的成矿时代为 100~120 Ma, 如乌拉嘎金矿床成矿年龄为 100~102 Ma、东安金矿为 108~112 Ma、砂宝斯为 120~121 Ma。金厂 I 号矿体的成矿年龄与黑龙江省主要金矿的成矿年龄一致; 而高丽沟 0 号矿体的石英闪长岩的年龄说明金厂矿区还存在与小兴安岭-张广才岭成矿带一致的成矿年龄 (170~190Ma), 表明金厂矿区至少存在两次重要的成矿作用。金厂矿区这两期不同的成矿时代, 代表了不同的地质背景, 对成矿做出了不同的贡献。

5.4.2 矿床的成矿地质背景

金厂矿区位于黑龙江省东部东宁县境内。从一级大地构造来看, 本区属于兴蒙造山带东端, 兴蒙造山带东端是指位于中国东北段, 中亚造山带在中国的部分; 从二级构造上来看, 属于松辽地块。金厂矿区北临佳木斯地块和兴凯地块, 西南为华北板块; 从三级构造上来说, 该区则位于太平岭隆起带与老黑山断陷的交接部位 (图5.5)。

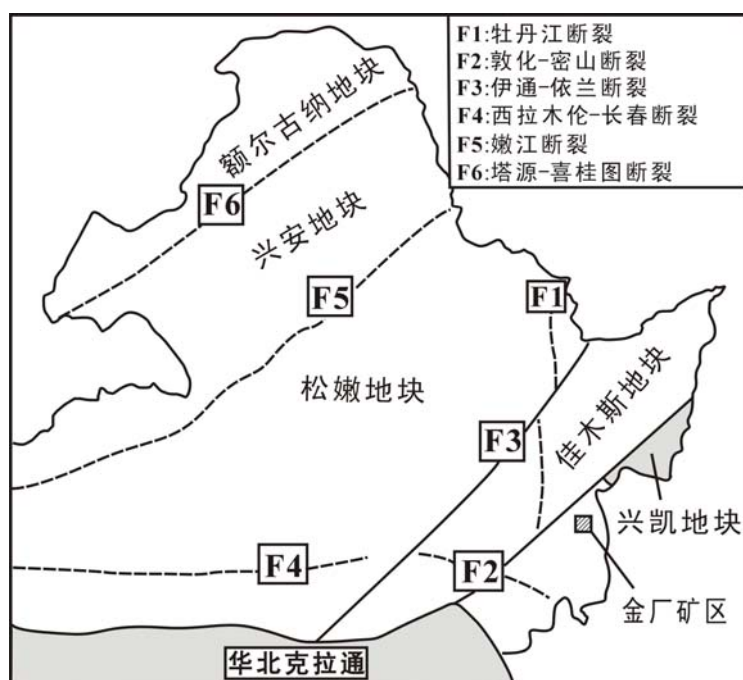
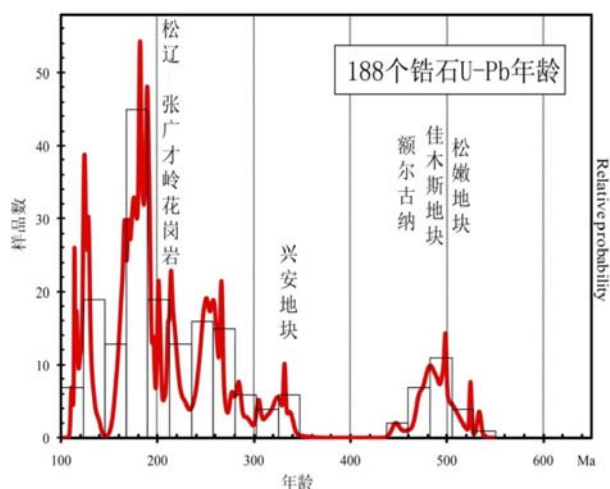


图5.5 东宁县金厂所处大地构造位置 (据葛文春等)

东北地区的花岗岩具有两个明显的特征。一是花岗岩的主体形成于中生代, 而不是传统所认为的晚古生代; 二是花岗岩的时空演化具有明显的阶段性和分区性 (图5.6)。主要特征表现为: ①年龄范围 530~450 Ma, 峰期年龄为 500 Ma, 相当的地质年代为中寒武世-中奥陶世。佳木斯地块、松嫩地块和额尔古纳-兴安地块中均有分布。这一构造-岩浆事件与兴凯运动, 或更大区域的萨拉伊尔运动及泛非运动的事件基本一致^[25]。②年龄范围 340~310 Ma, 峰期年龄为 330 Ma, 相当的地质年代为早石炭晚期-晚石炭世早期, 主要发育在额尔古纳-兴安地

块内,沿大兴安岭北东向展布。这一事件与松嫩地块和额尔古纳-兴安地块的拼合时间基本一致。③年龄范围270~240 Ma, 峰期年龄为260 Ma, 相当的地质年代为晚二叠-早三叠世。这一事件与古亚洲洋的闭合时间基本一致。④年龄范围210~160 Ma, 峰期年龄为190 Ma, 相当的地质年代为晚三叠-中侏罗世。主要分布在小兴安岭-张广才岭和东宁-延边地区。这一事件与古亚洲洋构造域转化为太平洋构造域的时间基本一致。⑤年龄范围140~110 Ma,峰期年龄115 Ma, 相当的地质年代为早白垩世。花岗岩主要分布在大兴安岭地区, 呈北东向展布。这一事件与东北亚地区中生代重要的成盆期时间一致,也是东北亚白垩纪大火山岩省的形成时间^[75]。



- (1) 500Ma峰期 —— 兴凯/萨拉伊尔/泛非构造事件
- (2) 330Ma峰期 —— 额尔古纳-兴安与佳木斯-松嫩地块拼合
- (3) 250Ma峰期 —— 东北拼合陆块与华北板块碰撞拼合
- (4) 190Ma峰期 —— 古亚洲构造域向滨太平洋构造域转换
- (5) 125Ma峰期 —— 东北亚大火山岩省和裂谷盆地形成
(岩石圈减薄)

图5.6 东北地区构造事件时间峰值 (据孙德有等)

本文的年代学结果已经揭示,高丽沟0号矿体的石英闪长岩的年龄为 (191.4 ± 6.7) Ma, 即高丽沟0号矿体的形成时代为侏罗纪。根据以上描述的内容,这种花岗岩主要分布在小兴安岭-张广才岭和东宁-延边地区,该地区高丽沟0号矿体的形成,与古亚洲洋构造域转化为太平洋构造域的时间基本一致,东北地区在侏罗纪存在太平洋板块的俯冲作用^[75]。因此,推断金厂矿区高丽沟0号矿体的石英闪长岩可能与这一时期板块的俯冲作用有关。表明该区在侏罗纪时具有拉张性质,即金厂矿区高丽沟0号矿体的形成可能与板块俯冲体制下的局部伸展拉张作用有关。

穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩的年龄为 (109.0 ± 2.4) Ma, 即穷棒子沟 I 号矿体形成时代为白垩纪。根据以上所述,金厂矿区穷棒子沟 I 号矿体的形成与东北亚大火山岩省和裂谷盆

地形成的时间一致。因此,可知金厂矿区穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩可能就是在东北亚地区中生代重要的成盆期形成的。

5.4.3 矿床成矿的地球动力学背景

2009年,跟随导师对黑龙江右岸的一系列典型岩金矿床(矿点)进行了系统深入研究。调查研究的矿床主要包括:砂宝斯大型金矿床、东安大型金矿床、乌拉嘎大型金矿床、旁开门金矿、宝兴沟金矿、三道弯子岩金矿床、争光岩金矿床、富强-高松山金矿床等,故对于黑龙江右岸的金矿有了更深、更系统的了解。

根据现有研究成果,黑龙江右岸是个重要的金矿成矿带,带内蕴藏有丰富的黄金矿产资源。现有的矿产勘查实践证实,右岸地区赋存有全省70%的砂金资源储量(220吨);全省68.5%的岩金矿床(全省35处岩金矿床,该区占24处)在该区集中产出;而且全省4个大型金矿中有3个(乌拉嘎、东安、砂宝斯)产出于该区,构成重要的黑龙江右岸金矿成矿带,素有“金镶边”的美誉。

黑龙江右岸地区的金矿床具有一些共同特征:如矿种单一;空间分布局限于黑龙江沿岸40~60km范围;金矿床、矿体受区域近东西向构造和近南北向构造控制;矿床产出于基底隆起与中生代凹陷或火山盆地交界地带,并与燕山期中酸性火山-侵入杂岩关系密切。

金厂矿区穷棒子沟 I 号矿体的金矿成矿时代和黑龙江右岸的乌拉嘎(K-Ar 年龄100~102 Ma)、东安(108~112 Ma)、砂宝斯金矿(120~121 Ma)的成矿时代一致,而高丽沟0号矿体的成矿时代与小兴安岭-张广才岭成矿带中的翠宏山、鹿鸣、霍吉河、前进东山等(成矿年龄为205 Ma左右)钼铜铅锌多金属矿床相近。因此,作者认为金厂金矿床的形成至少存在两期重要的成矿作用。

黑龙江右岸大规模金矿成矿主要形成于燕山中晚期,结合近年来的年龄资料:(1)东北地区在侏罗纪(燕山早期)存在太平洋板块的俯冲作用,由于受到俯冲作用的影响,深部地幔岩浆上升,高温的岩浆将下地壳部分熔融,由于局部伸展拉张作用的推动下,沿断裂上升到地壳浅部,形成了与成矿有关的有关的组分。区内金成矿作用总体上与太平洋板块俯冲有关,高丽沟0号矿体的形成可能与此有关。(2)在燕山中晚期,由中国东北北部大陆处于由南北向挤压向东西向挤压的转换时期,小兴安岭-张广才岭地区处于伸展-走滑的构造环境,伴随松辽盆地的初始裂陷及佳木斯-伊舒断裂的走滑,引发了大规模的花岗岩侵入,穷棒子沟 I 号矿体的形成可能与此事件有关。

结论与进展

在系统收集、分析前人研究成果基础上,通过对金厂矿区的实地考察和室内综合研究,在现代成矿理论和勘查理论指导下,分析了金厂金矿床的区域成矿背景、矿床地质、矿床地球化学特征,探讨了金厂金矿的成岩成矿时代及矿床形成的构造环境。得出如下结论:

1. 金厂金矿地处兴凯地块、太平岭隆起与老黑山断陷结合部位,是东北地区重要的大型热液型金矿床。矿区大面积发育燕山期中酸性岩浆岩,金矿化呈构造蚀变岩型、裂隙充填型、隐爆角砾岩型产出,产于花岗闪长岩、花岗斑岩、花岗岩和闪长岩中,规模较大的矿体为隐爆角砾岩型,其形态多为柱状、囊状,主要矿体为高丽沟 0 号、穷棒子沟 I 号和半截沟 J-8 号。高丽沟 0 号矿体中金属硫化物含量较高,除金外含较高的 Cu、Pb、Zn 和 Ag 等元素,其他矿体中金属矿物的种类比较单一,主要为黄铁矿。围岩蚀变类型主要为硅化、绢云母化和高岭土化,其次是钾长石化、碳酸盐化和绿泥石化等,硅化、绢云母化与金矿化关系密切。

2. 对含矿岩体地球化学研究结果显示,高丽沟 0 号矿体容矿岩石具有高硅(SiO_2)、富碱($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)特征,且具有较高的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值,与其它矿体的成矿岩体之间存在差别。从稀土元素特征看,成矿岩体均呈右倾稀土元素配分模式特征,但高丽沟含矿岩体的稀土总量和 LREE/HREE 比值相对略低,表明其稀土元素分馏程度相对较低。微量元素含量及蜘蛛网图显示,高丽沟 0 号矿体具有明显低 Nb、Y 和高 La_N/Yb_N 比值的特点,且含矿岩体的 Rb、Th 等大离子亲石元素含量高,显示高丽沟 0 号矿体与穷棒子沟 I 号矿体的成矿岩体具有不同成因。

3. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果表明,高丽沟 0 号矿体容矿围岩石英闪长岩的侵位年龄为 $191.4\pm 6.7\text{Ma}$,属于燕山早期岩浆活动产物;而穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩的形成时代为 $109.0\pm 2.4\text{Ma}$,属于燕山中晚期岩浆活动产物。反映金厂金矿床的多期多阶段成矿特征。

4. 流体包裹体测试结果表明,金厂矿区流体包裹体以含固相子矿物的多相包裹体特别发育为突出特点,且子矿物类型多,大部分情况下还会伴随有富气相的包裹体。流体包裹体的研究表明含矿流体成矿前以高温、高盐度为主,成矿期属于中高温、低盐度的流体;从成矿深度看,高丽沟 0 号矿体的成矿深度大于穷棒子沟 I 号矿体。

5. 金厂金矿床的地质、地球化学特征研究结果表明,本区具有多期成矿特征,高丽沟 0 号矿体的形成与燕山期太平洋板块的俯冲作用关系密切;而穷棒子沟 I 号矿体的形成可能与小兴安岭-张广才岭形成过程中的伸展-走滑的构造环境有关。

参 考 文 献

- [1]. Jin B Y. The Character of Volcanic Structure and Its Ore-Control Features in Jinchang Area, Heilongjiang [J].2002.
- [2]. Dziggel, A; Wulff, K; Kolb, J, et al. Processes of High-T Fluid-Rock Interaction During Gold Mineralization in Carbonate-Bearing Metasediments: The Navachab Gold Deposit, Namibia[J]. Mineralium Deposita,2009,44(6):665-687.
- [3]. Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. A-type Granites in Northeastern China: Age and Geochemical Constraints on Their Petrogenesis[J]. Chem Geol,2002,187:143-173.
- [4]. Vos IMA, Bierlein FP, et al. The Geology and Mineralisation at the Golden Pride Gold Deposit, Nzega Greenstone Belt, Tanzania[J]. Mineralium Deposita,2009,44(7):751-764.
- [5]. Chen W, Zhang Y, et al. The Ar-Ar Geochronological Study of the Shear Zone-Type Gold Deposit of East Tianshan, Xinjiang, NW China [J].Geochimica et Cosmochimica Acta,2009,73(13):214.
- [6]. Anderson M R. Fluid Mixing in the Generation of Mesothermal Gold Mineralization in the Transval Sequence[M]. Transval, South Africa. Eur J. Mineral. 1992,(4):993-948.
- [7]. Simeone R, Dilles J H, Padalino G, et al. Mineralogical and Stable Isotope Studies of Kaolin Deposits: Shallow Epithermal Systems of Western Sardinia, Italy. Economic Geology.2005.100(1):115-130.
- [8]. Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang. Metallogenic Epoch and Ore-Forming Environment of the Lamasu Skarn-Porphyritic Cu-Zn Deposit, Western Tianshan, Xinjiang, NW China. Acta Geologica Sinica. Aug.2008.
- [9]. Wang YJ, Fan WM, Guo F. K-Ar Dating of Late Mesozoic Volcanism and Geochemistry of Volcanic Gravels in The North Huaiyang Belt, Dabie Orogen: Constraints on the Stratigraphic Framework and Exhumation of the Northern Dabie Orthogneiss Complex. Chinese Science Bulletin. October 2002.
- [10]. Walsh J F, Kesler S E. Fluid Inclusion Geochemistry of High Grade, Vein Hosted Gold Ore at the Pamore Mine, Poreupine Camp, Ontario[J]. Econ. Geol. 1988,83:1347-1367.
- [11]. Robb L. Introduction to Ore-Forming Processes[M]. Malden: Black-Well Science Ltd, 2005:373.
- [12]. Roberts M P, Clements J D .1993. Origin of High-Potassium, Calc-Alkaline, I-Type Granitoids. Geology, 21:825-825.
- [13]. Robert F, Kelly W C. Ore-Forming Fluids in Archean Gold-Bearing Quartz Veins at the Sigma Mine, Abitibi Greenstone Belt, Quebec, Canada[J]. Econ. Geol, 1987,82:1464-1482.
- [14]. Roedder E, Bodnar R J. Geologic Pressure Determinations from Fluid Inclusion Studies[J]. Annual Rev. Earth Planet. Sci, 1980,8:263-301.
- [15]. RUSH P M, SEEGER HJ. Ok Tedi Copper-Gold Deposits[A]. HUGHES F E. Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea[C]. Australia: Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1990.1747-1754.
- [16]. Rapp R P, Xiao L, Shinizu N. Experimental Constraints on the Origin of Potassium-Rich Adakites in Eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2002,18(3):293-302.
- [17]. Perello J, Cox D, Garamjav D, et al. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro-Devonian Porphyry Cu-Au-(Mo) and High-Sulfidation Cu Mineralization with a Cretaceous Chalcocite Blanket[J]. Econ Geol, 2001,96:1407-1428.
- [18]. Perello J. Geology, Porphyry Cu-Au, and Epithermal Cu-Au-Ag Mineralization of the Tombuliat District, North Sulawesi, Indonesia[J]. Jour Geochem Explor, 1994,50:221-256.
- [19]. Pierce J A, MEI H. Volcanic Rocks of the 1985 Tibet Geotraverse. Lhasa to Golmud[J]. Phil Trans Roy Soc Lond, 1988, A327:203-213.
- [20]. Deng Jun, Sun Zhongshi, Wang Qingfei, et al. Crust Mantle Structure and Gold

Enrichment Mechanism of Mantle Fluid System[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2003, 22(3): 263-270.

[21]. Han Chunming. Geological Characteristics and Genesis of the Tuwu Porphyry Copper Deposit, Hami, Xinjiang, Central Asia[J]. Ore Geology Reviews. v.2006, 29(1): 77-94.

[22]. Gebauer D, Lappin M A, Grunefelder M. The Age and Origin of Some Norwegian Eclogites: A U-Pb Zircon and REE Study. Chemical Geology, 1985, 52: 227~248.

[23]. Vavra G, Gebauer D, Schmid R, et al. Multiple Zircon Growth and Recrystallization During Polyphase Late Carboniferous to Triassic Metamorphism in Granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An Ion Microprobe (SHRIMP) Study. Contrib Mineral Petrol, 1996, 122: 337~358.

[24]. Nasdala L, Gotze J, Pidgeon R T, et al. Constraining a SHRIMP U-Pb Age: Micro-Scale Characterization of Zircons From Saxonian Rotliegend Rhyolites. Contrib Mineral Petrol, 1998, 132: 300~306.

[25]. Wilde S, Zhang X Z, Wu F Y. Extension of a Newly Identified 500 Ma Metamorphic Terrane in North East China: Further U-Pb SHRIMP Dating of Mashan Complex, Heilongjiang Province, China[J]. Tectonophysics, 2000, 328: 115-130.

[26]. 陈俊, 王鹤年. 地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 331-360.

[27]. 金宝义, 陈锦荣等. 黑龙江金厂金矿区火山构造及其控矿特征[J]. 黄金地质, 2002, 8(1): 26-32.

[28]. 贾国志, 陈锦荣等. 金厂特大型金矿床的地质特征与成因研究[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 661-670.

[29]. 张德会, 王永等. 黑龙江金厂岩浆穹窿内金矿体成矿流体地球化学及其矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 2006, 25卷(增刊): 155-158.

[30]. 朱成伟, 陈锦荣等. 黑龙江金厂金矿床地质特征及成因研究[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 56-64.

[31]. 程小久. 变质地体中脉金矿床的现状和进展[J]. 地质科技情报, 1996, 15(2): 71-76.

[32]. 陈锦荣, 李汗光等. 黑龙江金厂J-1号金矿体地质特征及深部预测[J]. 黄金地质, 2002, 8(4): 8-12.

[33]. 代军治, 毛景文等. 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[J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 598-612.

[34]. 秦克章, 李惠民等. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 181-185.

[35]. 李永峰, 毛景文等. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 292-304.

[36]. 毛景文, 谢桂青等. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 169-188.

[37]. 谢桂青, 毛景文等. 鄂东南地区Cu-Au-Mo-(W)矿床的成矿时代及其成矿地球动力学背景探讨: 辉钼矿Re-Os同位素年龄[J]. 矿床地质, 2006, 25(1): 43-52.

[38]. 马家骏, 王英杰. 黑龙江东部岩金成矿作用探讨[J]. 黑龙江地质, 1990, 1(1): 29-56.

[39]. 马家骏, 方大赫. 黑龙江省中生代火山岩初步研究[J]. 黑龙江地质, 1991, 2(2): 1-16.

[40]. 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社. 1994. 419.

[41]. 李锦轶. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识[J]. 地质评论, 1998, 44(4): 339-347.

[42]. 林强, 葛文春等. 东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(2): 129-139.

- [43]. 卢焕章, 范宏瑞等.流体包裹体[M].科学出版社, 2004.
- [44]. Paterno R.Castillo.埃达克岩成因回顾[J].科学通报, 2006, 51 (6): 617-627.
- [45]. 邱家骧, 林景任.岩石化学[M].北京:地质出版社, 1991.131
- [46]. 王科强, 董建乐等.中国金矿床的成矿时代及其特征[J].黄金地质, 2000, 6 (1): 74-78.
- [47]. 裴荣富, 吴良士.金属成矿省演化与成矿[J].地学前缘, 1994, 1 (3-4): 95-99
- [48]. 李俊健.初论中国金矿床的成矿时代[J].前寒武纪研究进展, 1997, 20 (1): 17-24.
- [49]. 芮宗瑶, 张洪涛等.斑岩铜矿研究中若干问题探讨[J].矿床地质.2006, 25 (4): 491-500.
- [50]. 李俊健.初论中国金矿床的成矿时代[J].前寒武纪研究进展, 1997, 20 (1): 17-24.
- [51]. 李惠民, 李怀坤等.用矿脉中热液锆石的U-Pb定年确定东坪金矿的成矿时代[J].地球学报, 1998, 19 (增刊): 57-60.
- [52]. 涂绍雄, 高艳君.中国金矿大全[M].1989, (4): 35-41.
- [53]. 范永香.论金矿床的形成演化特点及预测意义[J].地质科技情报, 1992, 11 (3): 67-70.
- [54]. 葛文春, 隋振民等.大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石U-Pb年龄、Hf同位素特征及地质意义.岩石学报, 2007, 23 (2): 423-440.
- [55]. 葛文春, 吴福元等.兴蒙造山带东段斑岩型Cu, Mo矿床成矿时代及其地球动力学意义[J].科学通报, 2007, 52 (20): 2409-2417.
- [56]. 毛景文, 张作衡, 余金杰等.华北中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J].中国科学D辑:地球科学, 2003, 33 (4): 289-300.
- [57]. 代军治, 毛景文等.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[J].矿床地质, 2006, 25 (5): 598-612.
- [58]. 吴福元, 李献华等.花岗岩成因研究的若干问题[J].岩石学报, 2007, 23 (6): 1217-1238.
- [59]. P.亨德森.微量元素地球化学[M].地质出版社, 1988
- [60]. 张炯飞, 李之彤等.中国东北部地区埃达克岩及其成矿意义[J].岩石学报, 2004, 20 (02): 361-368.
- [61]. 张旗等.花岗岩构造环境问题: 关于花岗岩研究的思考之三[J].岩石学报, 2007, 23 (11): 2683-2698.
- [62]. 张显.黑龙江省东部早中生代火成岩构造组合及其大地构造演化[D].中国地质大学(北京)博士学位论文.2008.
- [63]. 赵国龙, 杨杜林等.大兴安岭中南部中生代火山岩[M].北京:北京科学技术出版社, 1989, 1-75.
- [64]. 郑亚东等.燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J].地质学报, 2000, 74: 289-302.
- [65]. 赵海玲, 邓晋福等.黑龙江完达山地区中侏罗世火山岩特征及其构造背景[J].地球科学, 1996, 21 (4): 428-432.
- [66]. 张文淮, 陈紫英.流体包裹体地质学[M].武汉:中国地质大学出版社, 1993, 107-156.
- [67]. 张泓翔, 徐志方, 黄智龙等.地幔流体基本特征及成因[J].地质地球化学, 2000, 28 (2): 1-7.
- [68]. 裴荣富.中国矿床模式.[M]地质出版社.1995.
- [69]. 黑龙江省地质矿产局.黑龙江省区域地质志[M].地质出版社, 1993.
- [70]. Hugh R.Rollison.岩石地球化学[M].北京:中国科学技术大学出版社, 2004, 40-165.

- [71]. 艾霞.2002.隐爆角砾岩型金矿成矿地质条件、构造类型及找矿标志[J].矿床地质, 21 (增刊):569-572.
- [72]. 宋得冒, 张宝林等.2002.隐爆角砾岩型金矿的成矿机理探讨[J].矿床地质21 (增刊):662-665.
- [73]. 吴元保, 陈道公等.大别山黄土岭麻粒岩中锆石LAM-ICP-MS微区微量元素分析和Pb-Pb定年[J].中国科学, D辑, 2003, 33:20-28.
- [74]. 陈道公, 李彬贤等.变质岩中锆石 U-Pb 计时问题评述-兼论大别造山带锆石定年[J].岩石学报, 2001, 17 (1):129-138.
- [75]. 周建波, 张兴洲等.中国东北地区的构造格局与盆地演化[J].石油与天然气地质, 2009, 30 (5): 530-538.
- [76]. 赵一鸣等, 中国主要金属矿床成矿规律[M].北京: 地质出版社, 2004:374-380.

黑龙江省金厂金矿的成矿时代及其地球动力学意义

中 文 摘 要

作者：韩世炯

专业：矿物学岩石学矿床学

导师：杨言辰、任云生

黑龙江金厂金矿床发现于 20 世纪 90 年代，它是中国东北部陆缘超大型的典型热液矿床之一。该区处于张广才岭-太平岭边缘隆起带上。从 60 年代开始，不少学者对矿区做了大量的研究工作，至 2009 年底，共发现工业矿体 17 条，累计探获（333）资源量 63406 千克，找矿潜力巨大。

矿区内出露地层有基底岩系新元古界黄松群、中浅变质岩、中生代火山-沉积岩及第四纪陆源碎屑岩系；侵入岩有闪长岩、花岗闪长岩、粗粒文象花岗岩、花岗岩等；浅成岩为花岗斑岩、闪长玢岩等；本区断裂构造比较发育，北东向的绥阳深大断裂控制着断裂构造格架，按走向可把断裂分为四组：①NE-NNE 向压扭性-压性断裂；②NW 向张扭性-张性断裂，③近 SN 向压性-压扭性断裂；④近 EW 向张性-张扭性断裂。本区的褶皱发育有太平岭复背斜，其轴向为北东向，贯穿整个区域，长达上百公里。由于受 SN 向和 NW 向断裂影响，而将其分成三段。

金厂矿区矿体的矿化类型主要为三种类型：隐爆角砾岩型、环状放射状裂隙充填型和岩浆穹窿型。其中隐爆角砾岩型矿体为 6 个，占到资源总量的 41%；规模较大的裂隙充填型矿体为 26 条左右，占总量的 39%；岩浆穹窿型矿体为 2 个，占总量矿体的 20%。分布在空间上具有明显的规律。

根据金矿体的产状、矿化蚀变组合以及相互之间的穿插关系，将金厂金矿床的成矿作用划分为燕山早期、燕山中晚期和表生氧化期等三个成矿期，并认为燕山早期金矿成矿与花岗斑岩有关，燕山中晚期金矿化主要受闪长玢岩侵入活动控制，晚期为表生氧化淋滤富集成矿期。

矿区内的主量元素、微量元素和稀土元素的研究结果表明，区内花岗岩属于岩体为过铝质、高钾钙碱性甚至钾玄岩系列的 S 型花岗岩，具有造山后岩浆作用的主要岩石学特征，与造山后伸展作用紧密相关。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定结果显示, 穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩形成于白垩纪 ($(109.0 \pm 2.4) \text{ Ma}$), 而高丽沟 0 号矿体的石英闪长岩形成于侏罗纪 ($(192.8 \pm 5.8) \text{ Ma}$)。表明高丽沟 0 号矿体容矿围岩石英闪长岩的侵位年龄为 $191.4 \pm 6.7 \text{ Ma}$, 属于燕山早期岩浆活动产物; 而穷棒子沟 I 号矿体的花斑岩的形成时代为 $109.0 \pm 2.4 \text{ Ma}$, 属于燕山中晚期岩浆活动产物。反映金厂金矿床的多期多阶段成矿特征。

总结前人的成果和本次研究的结论对矿床的成矿时代作出了初步认识: 金厂矿区至少存在两期重要的成矿作用, 金厂矿区穷棒子沟 I 号矿体的金矿成矿时代和黑龙江右岸的乌拉嘎、东安、砂宝斯等金矿的成矿时代一致, 而高丽沟 0 号矿体的成矿时代与小兴安岭-张广才岭成矿带中的翠宏山、鹿鸣、霍吉河、前进东山等多金属矿床相近。金厂金矿床高丽沟 0 号矿体的形成与古太平洋板块的俯冲作用关系密切; 而穷棒子沟 I 号矿体的形成可能与小兴安岭-张广才岭地区处于伸展-走滑的构造环境有关。

关键词:

金厂金矿, 锆石 U-Pb 年龄, 成矿时代, 地球动力学

**Metallogenic Epoch and Its Geodynamic Significance
Of the Jinchang Gold Deposit,
Heilongjiang Province**

Abstract

Speciality: Mineralogy, Petrology, Mineral Deposits

Supervisor: Yang Yanchen Ren Yunsheng

The gold deposit of Heilongjiang Province was discovered in the 1990s, which is one of the typical epicontinental super-large hydrothermal ore deposits in Chinese northeastern part. Jinchang gold deposit is located in the edge of embossed belt between Zhang guangcai ridge and Taiping ridge. Quite a few scholars have done a great deal of research about this deposit since 1960s. Until the end of 2009, they have discovered altogether 17 ore bodies and obtained the grand total volume of explored resources amounting to 63406 kg on this area which has tremendous ore-prospecting potential.

There are exposing basal rock-series of Huangsong group of neo-proterozoic, medium light Metamorphic Rock, volcanic sedimentary rocks of mesozoic and terrigenous clastic rock of quaternary as well as the intrusive rocks including quartz-diorite, granodiorite, coarse grain bunshox granite, granite and so on, in addition to hypabyssal rocks such as granite-porphyry, dioritic porphyrite, etc in this deposit. Northeasterward Suiyang big fault controls the skeleton of the fault structure which is relatively developed. According to the trend, the fracture can be divided into four groups: ①NE-NNE trending compression and scissor fracture and compressive fracture; ②NW trending tensional and scissor fracture and tensional fracture; ③SN trending compressive fracture and compression and scissor fracture; ④EW trending tensional fracture and tensional and scissor fracture. The fold of this area is developed Taiping ridge anticlinorium which is NE trending and stretches throughout the whole area for hundreds of kilometers. The fold has been divided into three parts because of being affected by the fracture of SN and NW trending fracture.

There are mainly three mineralization types in Jinchang deposit orebody: hydrothermal breccia type, annular radial fracture filling type and magmatic fornix type. Six orebodies of hydrothermal breccia type account for 41% of the total resources, about 26 orebodies of relatively large-scale fracture filling type account for 39%, and 20 orebodies of magmatic fornix account for 20%. The law of space distribution of these orebodies is obvious.

According to occurrence of gold orebody, mineralized altered combination and intercalating relationship between each other, the metallogenesis of Jinchang deposit is divided into earlier

Yanshanian period, mid-advanced Yanshanian period and surface oxidation period. It is supposed that gold deposit mineralization in earlier Yanshanian period is related to granite-porphyry, and gold mineralization in mid-advanced Yanshanian period is mainly controlled by intrusive activity of dioritic porphyrite. Late mineralization period is composed of surface oxidation and showering and filtering.

The research result of major elements, trace elements and rare earth elements in this deposit indicate that the type of granite is S type of granite, and the rock mass belongs to peraluminous, high potassium calcium alkaline and even shoshonite series. The S type of granite has main petrological characteristics of post-orogenic magmatism, and is closely related to effect of postorogenic extension.

The result of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating shows that Qiongbangzi Ditch No. I ore body formed in the Cretaceous period ((109.0 ± 2.4) Ma), and that Gaoli Ditch No.0 ore body formed in the Jurassic period ((192.8 ± 5.8) Ma). It manifests that the emplacement age of quartz is 191.4 ± 6.7 Ma in conduit ore-bearing wall rocks of Gaoli Ditch No.0 ore body which belongs to the products of magmatic activity in the earlier Yanshanian period. The granophyre of Qiongbangzi Ditch which belongs to the products of magmatic activity in the mid-advanced Yanshanian period formed in 109.0 ± 2.4 Ma. It reflects the multi-phase and multi-stage metallogenic characteristics in Jinchang deposit.

According to the summarization of previous studies and the conclusion of this research, the primary understanding on Jinchang metallogenic epoch has been made: there are at least two important metallogenesises in the mining area. The gold metallogenic epoch of Qiongbangzi Ditch No. I ore body is consistent with that of Wulaga, Dongan, Shabaosi gold deposit in the right bank of Heilongjiang Province. The gold metallogenic epoch of Gaoli Ditch No.0 ore body is approximately consistent with that of polymetallic deposit such as Cuihong Hill, Luming, Huoji River, Qianjin East Hill, etc in Xiaoxing'an mountains-Zhangguangcai mountains metallogenic belt. The formation of Qiongbangzi Ditch No.0 ore body is closely relevant to the effect of the Pacific plate subduction. The formation of Qiongbangzi Ditch No. I ore body is possibly related to the tectonic setting characterized by the extension and strike-slip fault in Xiaoxing'an mountains-Zhangguangcai mountains area.

Key words:

Jinchang Deposit, Zircon U-Pb Dating, Metallogenic Epoch, Geodynamic

致 谢

本论文从选题、野外调查、资料收集整理到论文的编写修改，杨老师都给了我热情的指导，并倾注了大量的时间和精力。在短短两年的学习时间里，恩师渊博的知识、高尚的人格魅力、严谨的治学态度、忘我的工作作风和崇高的敬业精神深深地感染着我，使我受益匪浅。在生活上也给予了很多的关怀，所有这一切我都将铭记在心。在此，向恩师杨言辰教授表达我最衷心的感谢！

感谢叶松青教授，在我论文的完成和实验过程中给予了大力的帮助和指导；同时感谢吉林大学地球科学学院和帮助过我的老师和同学，感谢武警第一支队给我的帮助。文中引用了许多近期发表和尚未发表的文章，都给予了一一标注，但限于篇幅，尚有部分文献可能被遗漏，借此机会表示感谢。

两年的时间里，无论是学习上还是生活上都得到了李向文同学、唐忠同学、唐铭君同学、史鹏辉同学以及张国宾同学的支持和帮助。

感谢我的父母对我的养育，对我的教育和支持，是他们给了我前进的动力，使我能够顺利完成学业！他们的理解和支持是我得以全身心投入学习的力量和源泉！

最后，要感谢在这两年中给予我帮助和指导的人，谢谢你们！

导师及作者简介

杨言辰，男，1965 年生，汉族，博士，教授。1987.2-1997.5，长春地质学院地质系勘探教研室工作；1997.5-1999.10，长春科技大学文管学院资环教研室工作；1999.10-至今，吉林大学地球科学学院矿产勘查教研室工作。

研究方向：成矿规律与成矿预测、矿产资源经济。

近几年来负责科研项目：

- 1.黑龙江两岸金多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律研究（地调局 2008-2010）
- 2.黑龙江右岸金矿成矿规律与成矿预测（2009-2011）武警黄金指挥部
- 3.黑河—伊春—哈尔滨钼铜多金属产业带资源开发战略（2008-2009 黑龙江省财政厅，财源项目）
- 4.黑龙江省海林市矿产资源调查与潜力评价（2006-2008）黑龙江省财政厅财援项目
- 5.黑龙江省伊春市前进东山铅锌矿成矿机制与找矿远景研究（2006-2007） 横向
- 6.黑龙江省遥感数据库建设（2005-2006）黑龙江国土资源厅
- 7.黑龙江小兴安岭-张广才岭成矿带成矿规律与成矿预测（2004-2006） 黑龙江省区域地质调查所
- 8.吉林红旗岭铜镍硫化物矿床找矿新思考（2005-2007） 省科委

在吉林大学学报、大地构造与成矿、地质与勘探等刊物上发表论文 20 余篇，

著作教材：

- 1.矿山地质学实习指导，吉林大学出版社，2007
- 2.矿山地质学，普通高校规划教材，地质出版社，1998
- 3.中国北方古元古代成矿带矿床成矿系列研究，吉林人民出版社，2002
- 4.资源利用与评价，校内教材，2004

获奖情况：

- 1.获得“吉林省五一劳动奖章”2008
- 2.吉林省“三育人”成果奖 2007
- 3.吉林大学教书育人先进个人、优秀党员（2007）
- 4.地矿部科技进步奖三等奖 2 项、四等奖 1 项
- 5.吉林省教委科技进步三等奖 1 项、吉林省教委优秀教学成果三等奖 1 项
- 6.中国黄金学会科技进步三等奖 1 项
- 7.吉林大学优秀教材一等奖 1 项
- 8.长春地质学院优秀教材三等奖 1 项
- 9.长春地质学院优秀教学成果一等奖 1 项

通信地址：长春市建设街 2199 号吉林大学地球科学学院矿产勘查教研室

邮编：130061

韩世炯，男，汉族，1984 年 2 月 19 日出生，青海省化隆县人。2006 年毕业于吉林大学地球科学学院资源环境与城乡规划管理专业，2008 年 9 月至 2010 年 6 月在吉林大学地球科学学院攻读矿物学、岩石学、矿床学专业硕士研究生，主攻方向是矿床地质学。曾参与中国地调局项目“黑龙江两岸金、多金属成矿带成矿地质条件与成矿规律对比研究”（1212010786005）。

通信地址：长春市建设街 2199 号吉林大学地球科学学院，邮编：130061