分类号：P624　　密　　级：公　开
UDC：_____　　单位代码：10076

工学硕士学位论文

吉林省抚松县砬子河区金矿床的成矿作用和矿床模型

作　者　姓　名：姜　鹏
指　导　教　师：李树文（教授）
申请学位级别：工学硕士
学　科　专　业：地质工程
所　在　单　位：资源学院
授予学位单位：河北工程大学

2012年5月

Y2132630

A Dissertation Submitted to
Hebei University of Engineering
For the Academic Degree of Master of Engineering

Gold deposit mineralization and mineral deposit model in Lazihe District Fusong Country of Jilin Province

Candidate : Jiang Peng
Supervisor : Prof. Li Shuwen
Academic Degree Applied for : Master of Engineering
Specialty : Geological Engineering
College/Department : College of Resource

Hebei University of Engineering

May, 2012

独创性声明

本人郑重声明： 所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，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，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 河北工程大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签字：姜鹏　　签字日期：2012年5月29日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 河北工程大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 河北工程大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签字：姜鹏　　签字日期：2012年5月29日

导师签字：[illegible]　　签字日期：2012年5月29日

摘 要

研究区位于吉林省抚松县北东部，行政区划属抚松县露水河镇管辖，尚未有人对该区域内的金矿床进行研究。研究区位于蒙古板块与中朝古陆交接带的中朝古陆一侧，即为中朝准地台，辽东台隆，铁岭-靖宇台拱北东部。区域内主要构造为北东向二道松花江断裂带及四道溜河～五道砬子河韧性剪切带，其次为近东西向、北东向断裂。地层主要为中太古宇-下元古宇上壳岩及古侵入体变质岩。构造比较发育有利于金矿床的形成。尚未有人对研究区内的金矿床进行研究。

本文通过分析地质质料，总结出该区域内金矿床的成矿控制因素、成矿作用（成矿温压条件、矿床成因、围岩控制因素和金矿化富集规律）和金矿床模型。认为研究区内的金矿床成因的属于一种复成岩浆热液金矿床，受花岗岩、地层及断裂构造三者的联合控制，为浅层低温热型金矿床，成矿温度是用含金石英脉中石英包裹体均一化温度、金属硫化物矿物对硫同位素平衡温度和包裹体爆裂温度进行估计的，成矿温度在 350℃左右；金矿成矿压力是利用二氧化碳密度法进行估算的，可能为 0.618～1.878GPa。并且通过分析物、化探和钻探质料，给出了研究区内的金矿床描述性成矿模型和空间几何模型，填补了该区域内金矿床研究的空白，为该区域内金矿床的研究提供了一定的借鉴意义。

关键词：金矿床；成矿控制因素；成矿作用；金矿床类型；金矿床模型

Abstract

The study area is located in the northeast of Fusong county Jilin province and Administrative division of Lushui town. It was not yet study on the regional gold deposit. The study area is located in the Mongolia plate and Zhongcao ancient land transfer belt and on the Zhongcao ancient land side.That is on the northeast Zhongcao paraplatform, Liaodong uplift, Tieling - Jingyu station arch.The main structure in the area is the northeast Erdaosonghua River fault zone and Sidaoliuhe ~Wudaoliuhe river ductile shear zone, and followed by near east-west, north east fracture. The formation mainly is shell under rocks and intrusive rocks of the Archean – Proterozoic. Structural comparison of development is conducive to the formation of the gold deposits.

In this paper, through the analysis of geological materials, it is summed up ore controlling factors, mineralization (temperature and pressure of metallogenic conditions, genesis of deposit, surrounding rock controlling factors and enrichment regularity of gold mineralization) and gold deposit model of the regional gold deposit. The study area of gold mineralization is a complex of magmatic hydrothermal gold deposit.It is controlled by the granite, formation and rupture structure three joint,.It is a shallow and low temperature thermal type gold deposit. Metallogenic temperature is used in the auriferous quartz vein quartz inclusion homogenization temperature, metal sulfide minerals on sulfur isotopic equilibrium temperature and inclusion decrepitation temperature estimation.The ore-forming temperature is at about 350℃, and gold metallogenic pressure is the use of carbon dioxide density estimation.the metallogenic pressure is 0.618~ 1.878 GPa. And summarizing the research area of the gold deposit metallogenic model and descriptive geometry model, it is in the region of gold deposits in the study provides certain reference significance.

Key words: gold deposit, ore controlling factors, mineralization, gold deposit, gold deposit model

目 录

摘 要……I
ABSTRACT……II

第 1 章 绪 论……1
1.1 研究的背景与意义……1
1.2 国内外研究现状……1
1.3 实物工作量……8
1.4 研究内容与技术路线……8
1.4.1 研究内容……8
1.4.2 技术路线……9
第 2 章 研究区概况……10
2.1 位置及交通……10
2.2 区域地质概况……10
2.3 研究区地质……13
2.3.1 地层与岩石……13
2.3.2 构造……14
2.3.3 岩浆岩……15
2.4 区域地球化学特征……15
2.5 矿(化)体特征……18
2.6 化探异常圈定……22
2.7 化探异常特证及解释推断……23
2.8 本章小结……24
第 3 章 研究区金矿床的成矿条件……25
3.1 金的基本性质……25
3.2 金沉淀富集成矿的理论分析……27
3.3 成矿温压条件……31
3.4 矿床成因……32
3.5 热液迁移循环的主要动力……32
3.6 矿化富集规律……33
3.7 岩浆岩的成矿作用……34
3.8 本章小结……34

第 4 章 研究区金矿床的控矿因素……35
4.1 构造控矿作用……35
4.2 岩性地层的控矿作用……38
4.2.1 提供金矿源……38
4.2.2 易于变形……38
4.2.3 提供沉淀剂……38
4.3 围岩控制因素……39
4.4 本章小结……40
第 5 章 研究区金矿床模型的研究及矿床类型划分……41
5.1 模型的概念……41
5.2 金矿床描述性成矿模型……42
5.3 金矿床空间几何模型……45
5.4 研究区金矿床类型划分……55
5.4.1 浅成低温热液型金矿床的概念……55
5.4.2 浅成低温热液型金矿床的分类……55
5.5 本章小结……57
结 论……58
6.1 结论……58
6.2 不足与展望……58
致 谢……59
参考文献……60
作者简介……63
研究生期间发表论文……63

第1章 绪 论

1.1 研究的背景与意义

黄金是人类较早发现和利用的金属。由于它特殊、稀少和珍贵，自古以来被视为五金之首，有“金属之王”的称号，享有其它金属无法比拟的盛誉，其显赫的地位几乎永恒。正因为黄金具有这一“贵族”的地位，一段时间曾是财富和华贵的象征，用它作金融储备、货币、首饰等。到目前为止黄金在上述领域中的应用仍然占主要地位。随着国际贸易的增加和国民生活日益提高，黄金的需求量逐年加大，属紧缺矿种[1]。基于黄金的特殊地位，我们需要加大对金矿床的研究，研究区位于蒙古板块与中朝古陆交接带的中朝古陆一侧，具有良好的金矿成矿条件，在这条交接带上已经发现了几个金矿床。通过分析现场实测资料和数据，结合所查阅文献资料，总结出研究区金矿床的成矿控制因素和成矿作用，以及金矿床模型，为研究区内的找矿提供参考资料。通过认真的研究了该区以往的地质资料，认为该区的矿床类型和成矿作用都类是于著名的吉林省夹皮沟金矿，而且夹皮沟金矿距离该区直线距离为30公里。目前该区内此方面的研究尚属空白，为该区内以后的金矿找矿具有一定的指导意义。同时金矿床模型等理论都比较成熟，也为开展本课题的研究打下了良好的基础。

1.2 国内外研究现状

当前人口、资源、环境是国际社会普遍关注的重大社会问题，其中矿产资源是自然资源的重要组成部分，是原材料工业和物质生产的基础。而矿产资源是不可再生的、有限的，随着工业化和社会的发展，人类对矿产资源的需求日趋上升，如何使有限的矿产资源满足国家社会经济持续发展的需要，人类与自然实现谐调发展，成为各国关注的焦点之一。

众所周知，资源是社会财富发展的源泉，矿业开发是国民经济的基础产业。据不完全统计，世界每年采掘矿石近千亿吨计。目前，我国95%的一次性能源70%～80%的工业原材取自于矿产资源的开发利用，每年投入的原料达50多亿吨。对矿产资源的利用水平，是人类社会进步的划分标志，如历史上划分为石器时代、青铜器、铁器时代、能源煤炭时代与油气时代等。一定的生产力水平与一定的矿产资源配置相适应，矿产资源开发是工业支柱产业。

钢铁工业和能源工业尤为重要，直接影响到国家政治与经济发展。同时也是国家安全的重要因素。因此矿产资源供给，一直是各国倍受关注的问题之一。一方面根据各国不同情况，制定合理的资源政策；另一方面重视资源勘查，不断增加矿产资源供给，参与世界矿产资源的市场竞争，力求达到供需平衡，以实现可持续发展战略，人类生存和社会发展对整个地球科学的要求，愈来愈高，为了未来的生存和发展，地球科学研究具有举足轻重的地位[2]。

矿产勘查是矿业开发的先行工作，勘查的目的是最终发现评价可利用矿床。随着矿业开发和研究程度的提高，矿产勘查的难度日益增大。矿产勘查工作本身存在许多不确定性，属高风险事业，矿产勘查工作的成功率愈来愈依赖于成矿规律的研究。

我国幅员辽阔，地质构造位置特殊，通过 50 年来地质工作者的努力，证明我国是矿产资源丰富的大国。展望未来 21 世纪，将是中华振兴的世纪，广大的地质勘查工作者仍将继续奋斗，为实现祖国四个现代化而作不懈的努力。

成矿规律学的产生与发展，是随矿业开发而应运而生，以 18 世纪中后期英国的工业革命为代表，人类对矿产资源开发利用的迅猛发展，不得不探讨矿床的形成规律。因此成矿规律学首先与矿床学的形成发展紧密相联。1847 年法国的戴白芒（Eline. De. Beaumont）、1901 年美国的范海兹（Van Hise）相继提出热液成矿的理论。20 世纪初，美国人艾孟斯（S. F. Emmons，1904，1909）发表了金属成矿分带的学说，随后鲍文（N. L Bowen，1915，1928）和瑞典人林格仑（w. Lindgren，1933）继续发展了这一学术思想。联系到整个矿床学的形成还可以追溯到 16 世纪以致更早的历史[3]。一部分学者则认为矿床主要是外生沉积形成。这就形成地学史上的水成论和火成论的长期论战。到 19 世纪初，最终以火成论——岩浆学说占统治地位，成为矿床学和成矿规律研究占统治地位的指导思想。但随着资料积累，现代海洋成矿作用的考查、生物成矿作用的研究深人，单一的岩浆观点有失偏颇。沉积和同生成矿作用的重要性愈来愈引起人们的重视和反思，而且层控金属矿床与油气的形成颇有相似之处，且内外生矿床存在一定的成因联系。经过长期的争论在新的水平上取得了共识，对矿床成因从“非此即彼”到“亦此亦彼”，应该说是认识上的一次飞跃。地球演化历史的突变论与渐变论、地壳运动方式的固定论和活动论都直接或间接影响到成矿规律学的发展[4]。

以美、法、加为代表的西方学者在成矿规律研究方面集中在大区域矿床分布规律研究，强调全球对比。如 R. 鲁蒂埃（1980）《全球成矿规律研究》，综述了区域成矿规律学的主要学派，划分太平洋铜矿带和欧美矿带等，诺布尔（Nobel，1970）对美国西部成矿省的研究，划分了若干金属省，探讨了矿

床区域分布规律与地幔的不均匀性有关，U. 彼德森（1972）对南美大陆成矿省的研究，P. 拉兹尼卡（Laznicka）“经验成矿规律”的出版（1985）。调研了世界众多矿床，某种程度上反映了20世纪80年代以来的研究成果，在探讨区域矿床分布规律时均引用了板块构造理论。如哈钦森（R. Hutchinson）、西利托（P. Silitoe）、库廷纳（Jan. Kutina）都在成矿规律上做出卓有成效的研究[5]。

深入典型矿床研究，在此基础上建立矿床模型是近年来西方学者取得大量成果的另一个主要成果，并在指导矿床勘查中发挥重要指导作用。1980年加拿大地学杂志开设矿床模式讲座。加拿大地质调查所R. L Erickson（1982）发表了48个矿床成因模式的系统资料，在1984年列入国际地科联（IIJGS）国际对比项目，随后出版了一系列专著，如美国的D. P. Cox、D. A. Singer的《矿床模式》（1986）、F. M. Vokes的《矿床模式》（1986）。并在苏丹、菲律宾、巴西和中国等地举行了专题讨论会。国际矿床成因协会（IAGOD）也开展了相关的研究[6-10]。

前苏联和俄罗斯学者，对成矿规律学形成一个独立的分支学科，起着决定性的作用。十月革命以后的苏联对地质和矿产勘查给予特殊重视，开展空前大规模的系统研究。20世纪40年代C. C. 斯米尔诺夫对硫化矿体氧化带和热液矿床脉动分带学说的研究，出版了“论太平洋成矿带”专著（1946）。H. A. 毕力宾20世纪40～50年代，编著了前苏联广大地区的成矿规律图，并建立了地槽一地台大地构造、岩浆一热液成矿分析系统理论，继而B. M. 斯米尔诺夫·拉德凯维奇，A. B. 谢格洛夫，谢尔等在区域成矿和分矿种的成矿规律方面做了大量的工作，发表一系列专著。如谢格洛夫的《成矿分析原理》（1980）、B. H. Kotnap的《成矿规律学和成矿预测》（1983）。实现了成矿规律学、摆脱了依附于矿床学，而成为一个独立的分枝学科。逐步完善了自己的理论体系和研究方法。近年来尤德克维斯特等强调总结成矿规律过程中，应用建立分析的理论，具有自己的鲜明特色和强大的生命力。

我国的成矿规律研究，可以追溯到二千多年前的“山海经”和“管子地数篇”中即已提出朴素的矿床垂直分带的思想，但没有得到发展。直到解放前地质工作还较为零星，勘查开发矿种限于煤、铁、钨、锡等有限几种矿产。真正的成矿规律研究是在1949年新中国成立以后，随着新中国的诞生，建立了地质部，开展规模空前的地质调查和矿产勘查工作。生产发展促进了科学技术的发展，使我国的成矿规律研究进入一个全新阶段。特别进入20世纪80年代以后的改革开放年代里，开展了系统的成矿区划工作，对建国近50年的工作经验进行了系统的总结，出版了一系列专著。有色金属、冶金、核

工业和石油天然气总公司等各部委也都进行了全国成矿规律总结，取得了举世瞩目的成果。我国地处太平洋西岸、横跨欧亚大陆，即太平洋、欧亚和印度板块的交接部位，地质构造复杂多样，其成矿规律独具特色。成矿规律研究主要成果集中在以下几个方面：

（1）在区域地质调查和大规模矿产勘查的基础上，科学地划分我国的重要成矿区带

20 世纪 80 年代中期郭文魁院士主编了《1：400 万中国内生金属成矿图说明书》。他在该书中分析了内生金属成矿条件，划分了成矿域、成矿省和成矿区带，总结了内生金属矿床的成矿规律。1979 年～1985 年原地矿部在全国范围内开展了系统的成矿区划工作，优选出我国 24 个重点找矿区带；1992 年～1994 年又开展了第二轮成矿区划工作，其成果集中反映在陈毓川院士主编的《中国主要成矿区带矿产资源远景评价》（1999）专著中。将我国的矿产资源分布划分为古亚洲、滨西太平洋、秦祁昆、特提斯一喜马拉雅五个成矿域，每个成矿域由若干个重要矿带组成，初步查明了我国各类矿床不均匀分布的规律。这将为我国中长期的资源勘查决策，提供了科学依据，也决定了我国矿业发展总体格局。

（2）在典型矿床研究基础上，建立了反映我国特色的成矿模式

20 世纪 70 年代以来，世界各国重视各类成矿模式的研究，是成矿规律研究的重要进展之一。我国学者郭文魁、涂光炽、宋叔和、程裕淇、陈毓川院士等在建立我国各类重要矿床的成矿模式工作中做出了重要贡献。如郭文魁等编著的《某些金属矿床的原生分带及其成因问题》（1963），赣南粤北石英脉型黑钨矿“五层楼”垂直分带模式（1966）；程裕淇等成矿系列理论的提出（1979），直到 1990 年陈毓川等汇编了二卷《矿床成矿模式选编》。他们对成矿模式的研究大致与国际上该方面研究同时进行。我国成矿模式的研究及矿床类型划分又提高到一个新的理论高度。

（3）建立并完善了成矿分析理论

纵观世界有关区域成矿分析的理论，在我国都有著名学者从事有关方面的研究。如黄汲清院士有关大地构造多旋回成矿的理论。陈国达院士对地洼区(前苏联称构造岩浆活化区)的成矿规律研究，其成果得到世界的公认。同时还有一批创新性的成果，即李四光院士的地质力学分析理论和方法、构造体系的控矿规律研究，程裕淇、陈毓川院士的成矿系列理论，赵鹏大院士的地质异常理论等，都对我国成矿规律研究起着重要指导作用。

（4）发展了反映我国特色的成矿理论

随着矿床学研究大量资料的积累，研究技术方法的改进和领域的扩大，

联系我国实际，成矿理论得到飞跃和发展。1989～1994 年出版了三卷专著《中国矿床》，大体反映了我国矿床学的研究水平[11-14]。

20 世纪 60 年代初在岩浆热液占主导地位时，孟宪民教授论述了同生成矿学说（1963），叶连俊院士提出“外生矿床陆源汲取成矿论（1963）”。岩浆热液、层控、火山成矿理论都得到很大发展。如郭文魁、徐克勤院士对我国南方钨锡和有色金属内生矿床研究，花岗岩的成矿专属性及与多种内生金属矿床关系研究。用同生、层控、火山和多成因观点对我国 Fe、Cu、Pb、Zn、Hg、Sb 等矿床进行了深入研究，特别是涂光炽院士提出矿床多成因、多来源、多阶段成矿观点的提出，将我国的矿床研究提高到一个新的理论高度。深入开展了矿质来源、成矿时代及成矿演化、成矿系列等方面研究，受到了世界同行的赞赏。

新的测试技术方法广泛应用，积累了大量的地质数据(包括文图资料)为我国的成矿规律研究奠定了坚实的基础。

（1）萌芽阶段（20 世纪 80 年代以前）

用模型的思路来研究矿床，古已有之。在两千年前的《山海经》上就提出了某些矿床的矿化垂直分带规律，早期矿床学教科书中的“成矿树”等，都属于简化的矿床模型。20 世纪 20 年代美国人艾孟斯提出了一个比较系统的围绕花岗岩矿床地热分带的规律。当时没有称模型，但已具雏形。同期我国翁文灏先生对南岭地区金属元素的分带规律进行了探讨。20 世纪 30 年代以来矿床的原生分带、矿床的区域分带研究在矿床学界得到广泛的重视，取得了大量的研究成果，张炳熹、郭文魁先生等在这方面做了很多工作。1962 年捷克正式明确提出“成矿模型”的科学名词，这是矿床学者长期探索的继续和必然结果，这些新思路发展了矿床学理论。但对矿床模型做系统研究工作的要算克莱克（1962），他提出矿床模型可以用来突出矿床的重要特征，绝对真实的模型是不存在的，从实际资料中概括出来又经过检验的模型，才是独创性的模型。K. H. WOLN（1979）就地质概念模式做过系统论述。期间我国曾提出过脉状钨矿“五层楼模式”（1996）、“玢岩铁矿模式”（1978）及“成矿系列”概念（1977，1979，1980）。

（2）发展和成熟阶段

进入 20 世纪 80 年代，自觉利用模型来研究矿床这一趋势业已明朗。1980 年加拿大《地球科学杂志》举办了“矿床模型”讲座。系统地发表了 14 个矿床模型的材料；1983 年原苏联 D. B. 龙克维斯特发表了“建立矿石建造地质-成因模式的一般原则”的综合理论文章，提出了建立模式的五项原则。1984 年加拿大地质调查所出版了《加拿大矿产类型：地质梗概》一书，公开发表

了各类矿床的描述性模式。1986年美国D．P．考克斯和D．A．辛格编著了《矿床模式》一书，书中总结了111个国家的3900多个矿床的资料，列出了87个矿床的描述性模式和60个不同类型矿床的品位-吨位模型。1988年原苏联的E．A．科兹洛夫斯基发表了“建立矿床模式的方向和任务”一文，首次提出建立地质-物理模型的构想。1988年C．T．霍德森发表了“矿床模型在矿产勘查中的理解和使用”的文章，提出建立矿床模型的理论和方法及其在矿产勘查中的实际应用价值。前苏联于1981、1985、1990年在新西伯利亚召开过三次“矿床成因模型”的全苏学术讨论会，在IUGSUNESCO的资助下，国际上成立了一个DMP为期十年（1984～1994）的大项目，在1990年渥太华召开的8THTAGOD会议上，DMP同时召开了专题讨论会。

我国此期矿床模型研究亦日趋高潮，众多地学杂志上刊载了不少矿床模型方面的文章和实例。如区域成矿条件分析若干问题（程裕祺，1980），再论矿床的成矿系列问题（程裕淇、陈毓川，1987），成矿模式与成矿系列（张炳熹、陈毓川，1987），论矿床模式（朱裕生，1993）。1990、1991年中国地质科学院成矿远景区划室出版了《矿床成矿模式选编》（一）和（二），1993年张贻侠出版了《矿床模型导论》，陈毓川、朱裕生等出版了《中国矿床成矿模式》。标志着我国矿床模型研究工作走上一个新的台阶。

同时，国内外对金矿床模型研究也得到了不断加强，涉及金矿床模型的各个方面，完善和发展了金矿床模型研究的理论和方法。如变质岩金易释放率资源量预测模型研究（卫万顺，1995），金矿遥感找矿信息模型研究（卫万顺，1995）归，区域金矿床模型研究（卫万顺，1995），山海关地区金矿成矿岩体地球化学识别模型研究（卫万顺，1997），金矿成矿构造（找矿）信息模型研究（卫万顺，1999），中国北方碱性岩型金矿床成因模型研究（卫万顺，2001），华北地块碱性岩型金矿床成因模型研究（卫万顺，2001）。积累了大量的金矿床模型方面的研究资料，为详细研究金矿床模型奠定了坚实的资料基础。

矿床模型研究的发展趋势

矿床模型是代表成矿学理论的高度综合和矿床学理论的发展趋势，通过建模实践将全面发展成矿学和矿床学的理论。其研究发展趋势为：

（1）按系统论和控制论来严格定义模型，并将这两论的方法引入到矿床模型研究中来，现有的统计方法不断被补充和完善，根据需要建立数据处理系统和计算机应用程序。

（2）矿床模型的建立，应先从某些急需矿种、重要矿产类型和重要成矿区带开始，而不急于建立一个包罗万象的矿床模型体系。

（3）充分利用已发表的文献和正式提交的报告，重事实，避免介入成因争论。

（4）研究组成员应有一个合理的专业结构，除地质人员外，应有地球物理、计算机管理和经济等专业人员参加。

（5）研究模型当然会带有地区性特色，而任何一个成熟的矿床模型又必须具有全球意义。因此应加强国内和国际间的广泛合作。

当代世界金矿开发和勘查的一个明显进展就是对浅成低温热液型金矿勘查取得了巨大成就。20世纪80年代发现的10个超大型金矿中，一半是浅成低温热液型金矿床，并在20世纪90年代还有发现，如日本的菱刈金矿、巴布亚新几内亚的波尔盖特金矿、利希尔岛金矿、智利北部的拉科伊帕金矿、中国的紫金山金矿、团结沟金矿等。同时，由于金银价格稳中有升及冶炼技术的提高，使得一些低品位矿石能够利用。再加上金得分析技术达到了10^{-9}级。从而使浅成低温热液金矿成为金矿地质学研究的热点，是当代重要的金矿类型之一，并在成矿理论研究方面发展最快，成果也最多。

浅成低温热液型金矿床（Epithermal）一词原意（Schmitt）是指发生在浅处并常在火山岩中定位的矿化，常出现一些不协调的矿物组合，即同一矿床中低温矿物组合和高温矿物组合同时出现。但其概念随时代的发展而发生了很大的变化。可分为四个阶段：

第一阶段（20世纪30～40年代）：以M．I,Indgren为代表，认为成矿热液及成矿物质来自于岩浆，是岩浆分异的产物，成矿温度低、成矿深度浅。

第二阶段（20世纪50～70年代前期）：矿床地质学家发现了热液矿床中的不协调矿物组合，继而提出了浅成低温热液矿床（Epithermal Deposit）和浅成高温热液矿床（Xenothermal Deposit）的概念，并把这种浅成低温热液矿床的思想引到金矿床研究中。但没有直接叫浅成低温热液金矿，而是叫火山岩一次火山岩型金矿，在这类金矿床中进一步强调了成矿地质环境的浅成低温特征。但该时期对浅成低温热液含义的理解仍没有脱离岩浆热液思想的束缚，对成矿热液的认识仍是火山一岩浆本身的热液体系。

第三阶段（20世纪70年代后期～80年代）：矿床学家利用同位素(氢、氧)能够比较准确地判断以水为主的成矿热液的来源，同时在陆相火山岩区发现了一大批与陆相火山作用有关的热液型金矿，促使了矿床学家对其进行深入的研究。正是由于这样的原因，对浅成低温热液矿床的认识取得了重大的突破，脱离了岩浆热液自身体系的思想认识束缚，而强调的是火山岩地区地热体系的成矿系统，成矿热液不仅仅只有火山热液的存在，而且加入了大量的大气降水成分。有些可能以大气降水为主。也有少数学者甚至否定火山热

液的存在，认为成矿热液是大气降水在地热体系作用下发生循环形成的。因此，这一时期所指的浅成低温热液型金矿床，是指产于陆相火山岩中或相邻岩石中，形成温度低于300℃，压力为$n\times10^7$Pa，成矿流体为大气降水与岩浆热液混合形成的溶液的一类矿床。

第四阶段（20世纪90年代以来）：随着对卡林型金矿的深入研究，认为赋矿围岩不单局限于火山岩中（V．F．Holliste），也可产于碳酸盐岩或粉屑岩等沉积岩内，即传统上所指的微细浸染型（卡林型）金矿，成矿流体多数情况下以大气降水为主。

总之，目前浅成低温热液型金矿床的概念是指产于火山岩、次火山岩中或碳酸盐岩、粉屑岩中，形成温度低于300℃，压力为$n\times10^7$Pa，成矿流体为大气降水与岩浆热液混合形成的溶液，且多数情况下以大气降水为主的一类矿床[2, 15-19]。

1.3 实物工作量

共收集和阅读了五十八篇中外参考文献，收集了两份研究区勘探报告、一份研究区水系底沉积物异常特征一览表、一份研究区土壤测量异常特征表和六份钻探报告，发表了一篇相关的学术论文。

1.4 研究内容与技术路线

1.4.1 研究内容

本文是以吉林省抚松县碰子河为研究区域，主要开展以下工作：

（1）收集以往地质工作资料和调查。收集、整理和分析区域地质背景和以往地质工作资料，并分析其成矿条件。

（2）整理分析现场勘探数据。其中物、化探异常数据和岩性样品化验数据对本课题研究尤为重要。

（3）通过以上资料分析该区的金矿类型和成矿作用。包括金矿类型、成矿控制因素、成矿物质来源、成矿流体性质和矿床成因等，尝试建立该区的金矿床模型。

（4）综合所有资料给出该区金矿类型和矿床模型。

1.4.2 技术路线

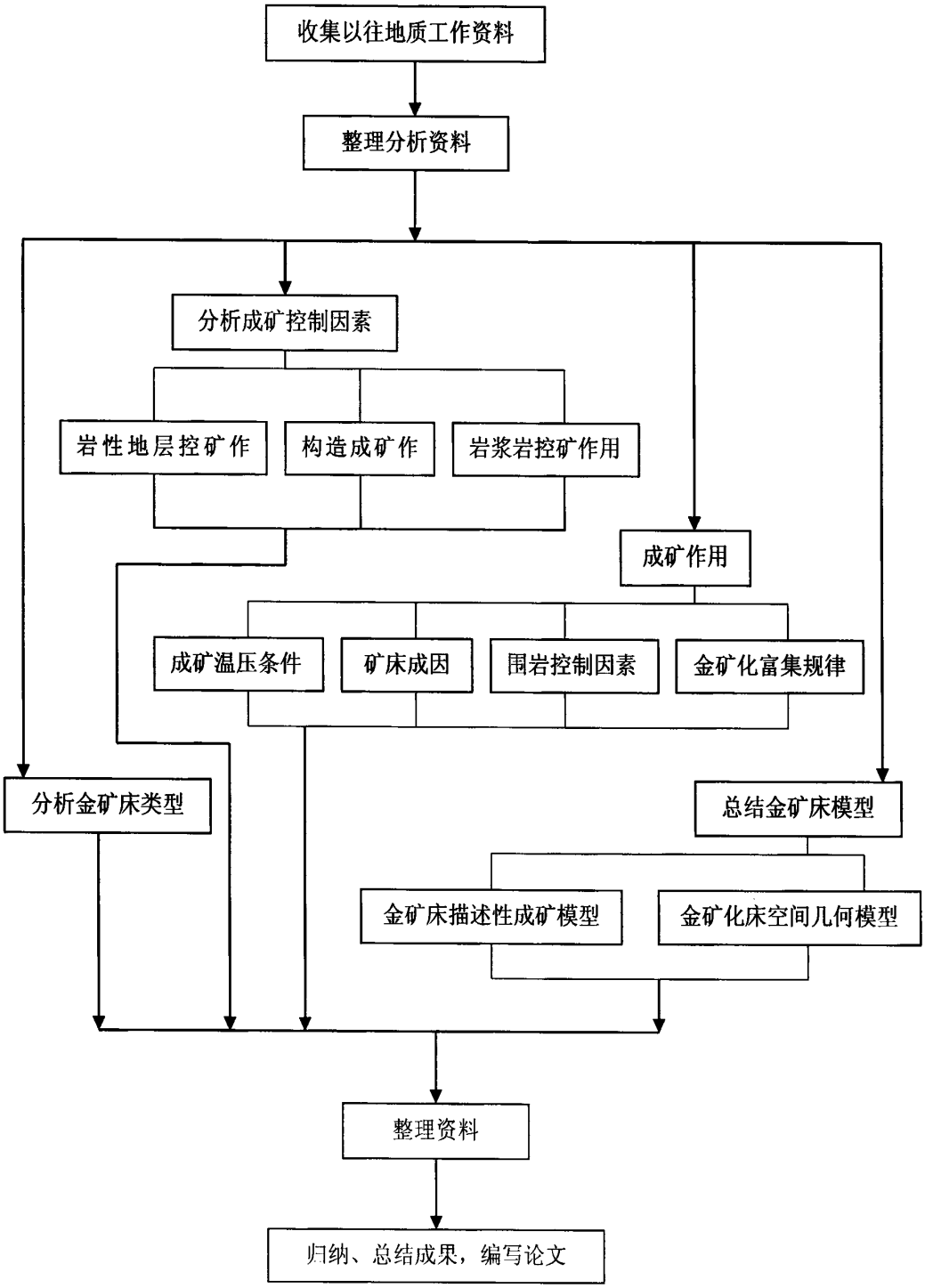


图 1-1 技术路线图

Fig 1-1 Technology Roadmap

第 2 章 研究区概况

2.1 位置及交通

砬子河区位于吉林省抚松县北东部，行政区划属抚松县露水河镇管辖。研究区面积 27.47km^2。

研究区位于露水河镇北西 25km。露水河镇有铁路与全国相连；201 国道鹤-大（鹤岗—大连）公路从研究区南东侧通过，且区内林道纵横交错，交通较为方便（图 2-1）。

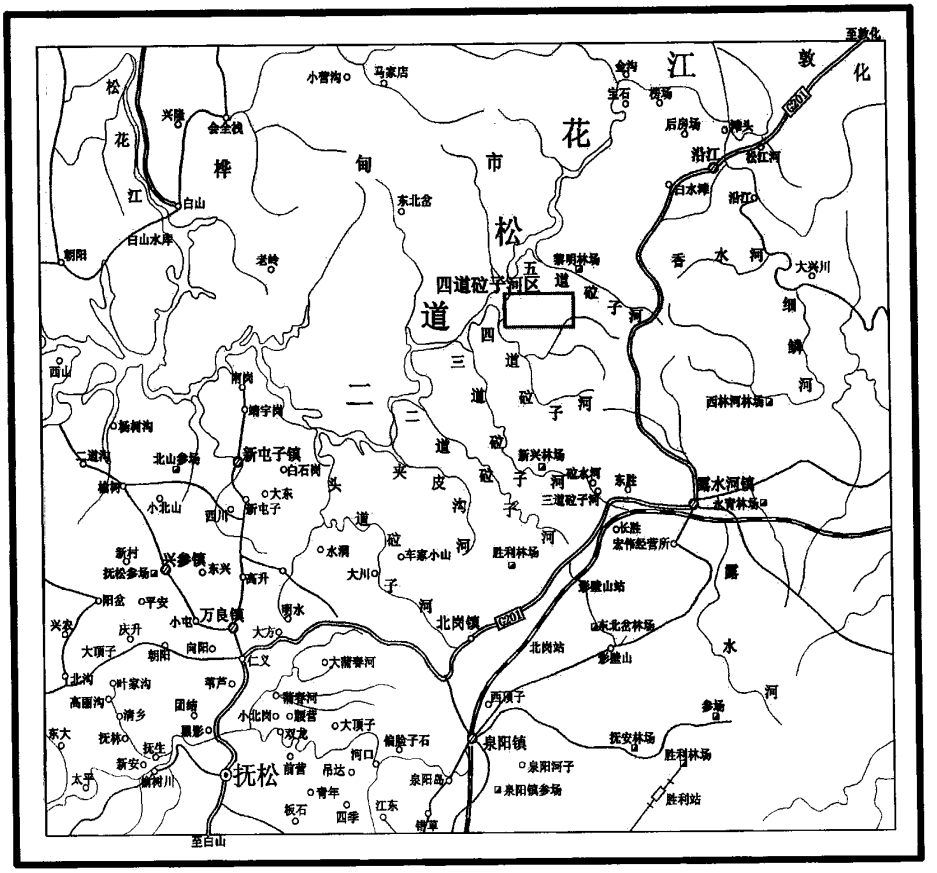


图 2-1　砬子河区交通位置图
Fig 2-1　Lazi River Area Location Map

2.2 区域地质概况

研究区位于蒙古板块与中朝古陆交接带的中朝古陆一侧，即为中朝准地

台(Ⅰ)，辽东台隆(Ⅱ)，铁岭—靖宇台拱(Ⅲ)北东部（图 2-2）

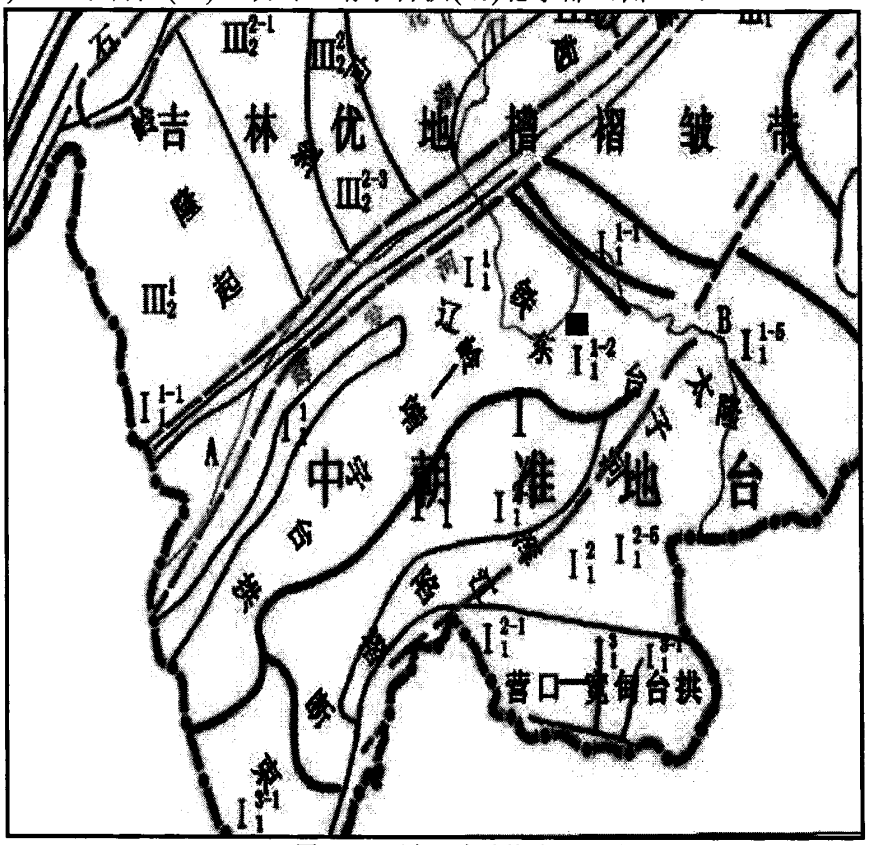


图 2-2　研究区大地构造位置图

Fig 2-2　The tectonic of the study area location map

出露地层主要为中太古宇—下元古宇，占区域面积的五分之三左右；显生宇石炭纪、三叠纪、侏罗纪；第四系地层，出露于该区东北部。

（1）中太古宇—下元古宇在本区划分为六个单元：

① 马家店上壳岩（Ms）

多呈包体分布于唐胡店沟二长花岗岩中，岩性为浅粒岩，麻粒岩。

② 岭东片麻岩（LQn）

分布于四道溜河—五道砬子河一带，呈不规则状，岩性以黑云斜长片麻岩为主。

③ 大朝阳沟斜长角闪岩（Dai）

呈脉状侵入岭东片麻岩及唐胡店沟二长花岗岩中。在五道砬子河可见。

④ 三道溜河 TTG 组合（SΓo）

呈小岩株状，侵入唐胡店河二长花岗岩中，岩性为奥长花岗岩、英云闪长岩、花岗闪长岩组成，呈相变接触。

⑤ 唐胡店沟二长花岗岩（Tηγ）

区内广泛发育，其侵入岭东片麻岩、大朝阳沟斜长角闪岩中。岩性为花

岗岩、钾长花岗岩组合。

⑥ 五道砬子河变辉长辉绿岩（WMv）

以岩墙、岩株方式侵入太古宇各单元中。主要分布于五道砬子河周边，以侵入唐胡店沟二长花岗岩中最为普遍。

（2）显生宇有石炭系、三叠系、侏罗系，第四系地层，主要分布于贝水滩至香水河一带。

①上三叠统小营子组（T_3x）

分布于本区中北部，分布面积约 20km^2。分砂岩段、砾岩段。

②上侏罗统石人组（ShJ_3）

分布于宝石村至香水河一带，面积约 50 km^2，为巨砾岩夹砂岩及煤线。

③下白垩统那尔轰组（NK_1）

分布于四湖一带，面积约 10km^2，为一套酸性熔岩类与次流纹岩相伴产生的火山岩系。

④第四系

第四系主要发育在二道松花江沿岸，为河流相。有少量火山岩相分布于四湖一带。火山岩相（BQp）岩性为气孔状、块状玄武岩、多斑安山玄武岩。

（3）显生宇侵入岩主要为印支期五道溜河序列的夹卵沟石英闪长岩（$J\delta oT$）、宝石村二长花岗岩（$B\eta\gamma T$）、孤石沟花岗岩（$G\gamma T$）；燕山期蜇麻沟花岗岩（$Zh\gamma\pi K_1$）

① 夹卵沟石英闪长岩（$J\delta oT$）

区内东北部分布较多，呈岩株状，面积约 13km^2。被宝石村二长花岗岩侵入。

② 宝石村二长花岗岩（$B\eta\gamma T$）

分布于工作区北部，有两个侵入体，面积 112km^2，受东西向构造控制。其侵入夹卵沟石英闪长岩及三叠系小营子组，接触部产生数米至数十米的角岩化带。孤石沟花岗岩侵入其单元。

③ 孤石沟花岗岩（$G\gamma T$）

区内在五道砬子河附近有零星分布，中北部分布面积较大，总面积 12km^2。该单元侵入宝石村花岗岩中，呈穿刺式。

④ 蜇麻沟花斑岩（$Zh\gamma\pi k_1$）

在五道砬子河见面积 1km^2，以碱性为主要特征。

该区域位于两大构造单元的衔接地带，中朝古陆一侧，不同期次构造活动强烈。五道溜河岩体沿东西向构造侵入后扩张，随之周边的地层形成和与其匹配的构造形迹，即南北向的张裂隙充填辉绿岩脉。北东向压扭性断裂以

及北西向压扭性韧性剪切带，北西向的构造盆地。其中北西向的构造带控制着金、银等多金属矿化范围，如四道溜河—五道砬子河韧性剪切带；沿江—香水河构造盆地。

2.3 研究区地质

2.3.1 地层与岩石

研究区主要地层为中太古宇—下元古宇上壳岩及古侵入体变质岩。本区表现有 6 个单元。由老至新分述如下：

（1）马家店上壳岩（Ms）

在本区呈零星残块、包体，分布面积约 0.5km^2。其主要岩性：石英岩、浅粒岩、角闪变粒岩、斜长变粒岩等。

（2）岭东片麻岩（LQg）

分布于五道砬子河一带，面积 5km^2。被后期大朝阳沟斜长角闪岩、三道溜河 TTG 组合、唐胡店沟二长花岗岩侵入。岩石类型以黑云斜长片麻岩为主，部分为黑云二长片麻岩。

黑云斜长片麻岩（b 采石场）：灰黑色，斑状变晶结构，基质为鳞片变晶结构，片麻状构造，变斑晶为斜长石，含量 10%，基质中斜长石含量 40%，石英 20%，具波状消光、变形纹，呈条带、透镜集合体。钾长石 10%，黑云母退色变为绿泥石，与石英相间构成片麻理，含量 20%，电气石、锆石极少量。

岭东片麻岩中金、银土壤测量异常较发育。

（3）大朝阳沟斜长角闪岩（Dai）

测区内分布较少，其侵入岭东片麻岩中或被三道溜河 TTG 及唐胡店沟二长花岗岩侵入呈残留体，有变形、皱褶、拉断等现象。

斜长角闪岩：灰黑色、灰绿色，细粒变晶结构，芝麻点状、条带状及片麻状结构。成份：角闪石 40～50%，斜长石 45～60%，蚀变强。副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石等。

（4）三道溜河 TTG 组合（SΓo）

本区的西北角有出露，面积约 0.5km^2，呈岩株状。由奥长花岗岩、英云闪长岩、花岗闪长岩组成。

奥长花岗岩：灰白色，不等粒变晶结构，块状、斑杂状构造。成份：斜长石 60～70%，石英 20～30%。暗色矿物黑云母、角闪石、绿帘石等，含量 5%。副矿物有锆石等。

（5）唐胡店沟二长花岗岩（Tηγ）

在本区广泛分布，岩性主要为花岗岩、钾长花岗岩组合，二者为相变关系，普遍混染，其侵入岭东片麻岩、大朝阳沟斜长角闪岩、三道溜河 TTG 组合中，被五道溜河岩体侵入。

二长花岗岩：微红色，中-粗粒变晶结构，块状构造，主要成份：斜长石呈板状，半自形晶，绢云母化、高岭土化，含量 40%。碱长石呈板状，半自形晶，绢云母化、褐铁矿化，有的交代斜长石，含量 30%。石英有裂纹，波状消光，变形带、裂纹中充填绢云母，含量 25%。黑云母已退色呈无色，沿解理及边缘常有褐铁矿分布，含量 5%。

（6）五道砬子河变辉长辉绿岩（WMv）

该单元为太古宙以后的侵入岩，与太古宙其它侵入岩在时间上间隔不大。分布于测区西部，呈脉状，面积 0.8km^2。它侵入太古宙各单元中，以侵入唐胡店沟二长花岗岩最为普遍，变质变形较微弱，含金、镍偏高于大朝阳沟斜长角闪岩。

变质辉绿岩：灰黑色，变余辉绿结构，块状构造，主要成份：斜长石呈板状，自形晶，轻微钠黝帘石化，含量 40%。辉石呈柱状，解理完全，沿解理有较多磁铁矿，构成席勒结构，辉石属残留占 10～15%。角闪石呈深蓝～浅黄色，多作为辉石和斜长石反应边或完全替代辉石，含量 40%。石榴石、磁铁矿含量 5～10%。

2.3.2 构造

研究区主要构造为北东向二道松花江断裂带及四道溜河～五道砬子河韧性剪切带，其次为近东西向、北东向断裂。

（1）五道砬子河韧性剪切带

该带为四道溜河～五道砬子河韧性剪切带的东延部分，自黎明林场转为南北向。在本区长 3.5km，宽 1km，带内片理、片麻理发育，倾向东，倾角 40°～60°，中心见强糜棱岩化，向两侧渐弱，带中见鞘皱褶，岩石节理、片理常弯曲，石英具波状消光、变形纹，有眼球状斑块。剪切带内派生的近东西向破碎带见金矿化，金品位 0.5×10^{-6}。也反映了有一定规模的土壤 Au 异常，蚀变强，是寻找金矿有利地段。

（2）F_1、F_2 为一组断裂，长约 4km，走向近东西，倾向北，倾角 50°～60°，断裂两侧岩石较破碎，宽几米～几十米，蚀变强，脉岩发育，部分地段银异常较强，F_1 断裂从地表特征、岩石镜下鉴定，均具有韧性剪切带特征，在 F_1 北侧发现的金矿化体（2-1、2-2）即受 F_1 控制，其表现为近东西向破碎

蚀变带构造形成金矿（化）体。矿（化）体倾向与其相反，F_1 可能为导矿构造。

2.3.3 岩浆岩

在前述地层中已谈及自太古宇～下元古宇，在本区表现为六个单元，除上壳岩外，另五个单元均为古老的侵入体，经后期变质作用形成了中级变质岩。主要岩性为花岗岩类及斜长片麻岩、角闪岩等。显生宇侵入岩在本区较少，主要为侏罗纪辉石闪长岩(δ)呈脉状，长几十～几百米，宽几米～几十米，侵入到唐胡店沟二长花岗岩中较多，其与斜长角闪岩不易区别。早白垩世蜇麻子沟花岗斑岩($Zh\gamma\pi k_1$)，分布于测区中部，面积 1.0km^2，呈椭圆状。岩石呈肉红色，斑状结构，斑晶为斜长石，基质为长石，石英呈文象结构。副矿物有锆石、榍石、磁铁矿。显生宙侵入岩与成矿关系有待进一步研究。

2.4 区域地球化学特征

表 2-1 硿子河区水系底沉积物异常特征一览表

Tab 2-1 The list of river bottom sediment anomalies characteristics in lazi river area

异常编号	异常名称	异常位置	元素组合	异常概况				异常区地质特征	备注
				元素	极大值	平均值	面积		
156	四道硿子河	露水河镇北西约22Km	Cu、As、Pb、Zn、Ag	Cu	80	50	10	分布于唐胡店(Tηr)二长花岗岩中，东西长 2Km，南北宽 0.7Km。	1/5 万水系底沉积物测量
				Pb	50	35	2		
					55	36	1.2		
				Zn	153	110	08		
					113	105	1		
				Ag	0.3	0.25	2		
157	五道硿子河	露水河镇北西约18Km	Cu、As、Ag、Au	Cu	99	55	1	分布于岭东片麻岩(LQg)中，北西—南东长 5Km，南西—北东宽 1.5Km	
				As	11	9	1		
				Ag	0.41	0.2	0.5		
				Au	6	6	1		
					6	6	2		
					100	100	0.2		
				As	10.5	9	0.2		
				Au	5	5	0.2		
				Ag	0.57	0.25	12		

注：单位 Au×10^{-9}、Ag×10^{-6}其它为 10^{-2}面积为 km^2

区域经过 1：5 万水系底沉积物测量，获得 5 处 Au、Ag、As、Sb、Hg、

Cu、Pb、Zn、Mo 组合异常，其强度 Au：5～10×10^{-9}，Ag：0.3～0.9×10^{-6}，Cu：55～99×10^{-6}，Pb：50～55×10^{-6}，Zn：100～153×10^{-6}。异常大部分分布在区域的东北，五道溜河岩体的边缘接触带，受侵入构造控制；一部分在区的南部，二长花岗岩中，受北西-南东向主构造-韧性剪切带与东西向构造带交汇处控制。总体看区域上的金属元素含量较克拉克值高。对成矿是有利的。异常详细情况（表 2-1 和表 2-2）。

表 2-2　砬子河区不规则测网土壤测量异常特征一览表

Tab2-2　The list of irregular measuring net soil survey abnormal features in lazi river area

异常编号	规模		形态	展布方向	元素异常值			点数	异常区地质特征
	长(m)	宽(m)			元素	极大值	平均值		
Ag4—1	1000	300	椭圆	EW	Ag	6.00	1.21	17	位于 F1 北侧，唐胡店二长花岗岩中
					Au	3.8	2.6	3	
Ag4—2	600	150		NE	Ag	1.65	0.75	4	位于唐胡店二长花岗岩中
Ag4—3	700	150		NE	Ag	0.50	0.39	5	位于岭东片麻岩与唐胡店二长花岗岩接触带
Au4—1	600	300		SN	Ag	8.50	2.86	6	位于五道砬子河变质辉长辉绿岩与唐胡店二花岗岩接触带
Au4—2	1300	200	不规则	NE	Au	10.0	2.80	12	位于蜇麻沟花斑岩与唐胡店二长花岗岩接触部
Au4—3	100	100	椭圆		Au	13.0		1	位于唐胡店二长花岗岩中
Au4—4	1000	200	葫芦状	NE	Au	11.0	5.74	5	岭东片麻岩中
					Ag	0.28	0.28	2	
Au4—5	1200	200	不规则	NE	Au	11.0	2.60	16	岭东片麻岩中
Au4—6			未封闭	EW	Au	10.0	3.13	10	位于唐胡店二长花岗岩中
Ht	1400	350	椭圆	EW	Ag	4.52	0.91	63	位于唐胡店二长花岗岩中
					Au	15.5	2.4	77	
					Pb	180	53.4	45	

Au×10^{-9}、Ag×10^{-6} 其它元素%

表 2-3 碌子河区土壤测量异常特征表

Tab2-3 The Lazi River area soil survey abnormal features table

序号	异常编号	面积(Km^2)	形态	展布方向	元素异常特征 元素	异常下限	极大值	平均值	衬值	异常区地质特征
1	Ht 08—1	0.18	条带	EW	Ag	0.33	4.52	1.21	2.32	分布与二长花岗岩（Tηr）
					Au	1.60	3.40	2.42	1.34	
					Pb	38	102	58.83	1.54	
					Cu	44	67.80	57.58	1.18	
2	Ht08—2	0.01	椭圆	EW	Au	1.6	15.5	15.5	1.00	分布于二长花岗岩（Tηr）
					Cu	44	58.5	58.5	1.00	
3	Ht08—3	0.01	椭圆	EW	Ag	0.3	2.25	0.93	2.22	分布于二长花岗岩（Tηr）
					Pb	38	65.4	65.4	1.00	
					Cu	44	48	48	1.00	
4	Ht08—4	0.01	椭圆	EW	Ag	0.33	3	1.45	2.69	分布于二长花岗岩（Tηr）
					Au	1.6	1.8	1.8	1.00	
					Cu	44	57.1	50.6	1.15	
					Pb	38	53.4	45.6	1.19	
5	Ht08—5	0.05	条带	EW	Ag	0.33	1.05	0.70	1.95	分布于二长花岗岩（Tηr）
					Cu	44	59.1	51.63	1.11	
					Pb	38	49.3	47.4	1.08	
6	Ht08—6	0.02	椭圆	EW	Ag	0.33	4.32	4.32	1.00	分布于二长花岗岩（Tηr）
					Cu	44	79.3	79.3	1.00	
7	Ht08—7	0.03	椭圆	EW	Ag	0.33	1.37	0.95	1.82	分布于二长花岗岩（Tηr）
					Cu	44	51.4	51.4	1.00	
					Pb	38	180	112.05	2.54	
8	HtAg08—1	0.01	椭圆	EW	Ag	0.33	0.74	0.60	1.40	分布于二长花岗岩（Tηr）
9	HtAg08—2	0.01	椭圆	EW	Ag	0.33	0.9	0.9	1.00	分布于马家店上壳岩（Ms）
10	HtAu08—1	0.09	长条	SN	Au	1.6	5.5	2.72	1.70	分布于二长花岗岩（Tηr）
11	HtAu08—2	0.07	长条	SN	Au	1.6	4.4	2.42	1.50	分布于二长花岗岩（Tηr）
12	HtAu08—3	0.01	椭圆	EW	Au	1.6	5.1	5.1	1.00	分布于二长花岗岩（Tηr）
13	HtCu08—1	0.01	椭圆	EW	Cu	44	109	109	1.00	分布于二长花岗岩（Tηr）
14	HtPb08—1	0.01	椭圆	EW	Pb	38	114	114	1.00	分布于二长花岗岩（Tηr）

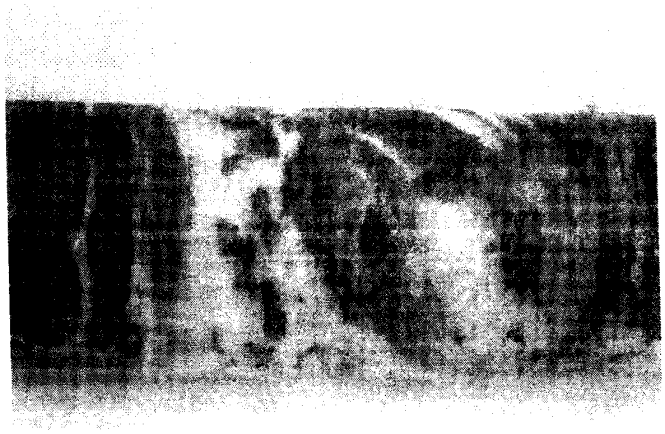
Au×10^{-9}、Ag×10^{-6} 其它元素%

2.5 矿(化)体特征

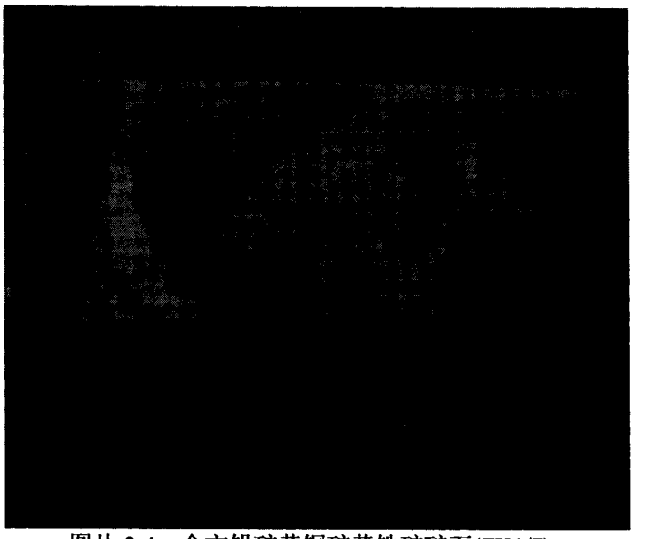
碛子河区共发现 1 条（2-2）矿体；3 条矿化体（2-1、2-3、2-4）。

2-1 号矿化体：27 线-8 线由 TC401、TC605、ZK2/0、ZK1/8，4 个工程控制，推断长约 670m,矿化体在地表品位、厚度变化较大，呈脉状，倾向南，倾角 65°～73°幅宽 0.22m～1.00m，金品位 5.6×10^{-6}～40.8×10^{-6}，矿化体由蚀变岩、石英网脉蚀变岩、蚀变二长花岗岩组成，岩石节理、劈理发育。矿体见黄铁矿，细～粗粒状，半～自形晶；方铅矿化，方铅矿呈星形斑点状。见少量孔雀石。

2-2 号金矿体：27 线～8 线，地表控制长约 800m，其中西段控制间距 40-170m，由七个工程控制（TC606、TC601-2、TC722、TC721、TC720、TC719、TC604），控制矿（化）体长 480m，呈脉状、倾向南，倾角 73°～75°,幅宽 0.60m～1.40m，平均幅宽 1.07m，平均金品位 45.40×10^{-6}；深部在 7、15、23 线有 3 个钻孔（ZK1/7、ZK1/15、ZK1/23）在 400m 标高左右，控制矿体长 320m,斜深 160～170m，水平厚度 0.12～0.35m，金品位 77.1×10^{-6}～294.0×10^{-6}，金品位 0.14×10^{-6}～0.25×10^{-6},平均水平厚度 0.26m,金平均品位 175.18×10^{-6}。ZK1/7、ZK1/15 钻孔所见矿体，由矿化蚀变斜长角闪岩组成，金属矿物有它形方铅矿、细粒它形黄铁矿 、黄铜矿，多呈斑点状、少量呈细脉状；（图片 2-1、2-2、2-3）蚀变主要有绿帘石化、碳酸盐化、退色化等。

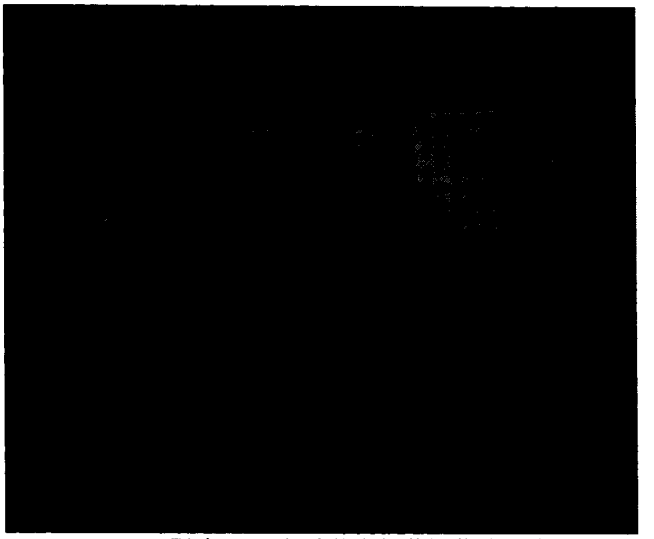


图片 2-3 含方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、矿石 （ZK1/7）
Fig 2-3 containing the galena、chalcopyrite、pyrite ores（ZK1/7）



图片 2-4 含方铅矿黄铜矿黄铁矿矿石(ZK1/7)

Fig 2-4 containing the galena、chalcopyrite、pyrite ores（ZK1/7）



图片 2-5 细脉状方铅黄铜黄铁矿矿石

Fig 2-5 the Fine veined galena、chalcopyrite、pyrite ores

东段地表 5 线～10 线 40～120m 间距控制矿体长 280m，由 5 个工程控制（TC604、TC406、TC402、TC607、TC412)，呈脉状、产状走向 95°～115°，倾向南西，幅宽 0.90m～4.50m，平均幅宽 2.18m，平均金品位 150.34×10^{-6}。金品位 $0.1\sim0.42\times10^{-6}$；深部有 3 个钻孔控制，在 0 线 2 个孔（ZK1/0、ZK2/0）设计控制矿体斜深分别为 160m、320m，8 线 1 个孔（ZK1/8），ZK1/0 孔见 2-1 号矿化体，水平厚度 0.24m，金品位 5.6×10^{-6}。ZK2/0 孔见两条矿化体，第一条金矿化体编号 2-4，水平厚度 0.52m,金品位 48.5×10^{-6}。第二条金矿化体为 2-1 号水平厚度 0.22m,金品位 5.8×10^{-6}。ZK1/8 孔见两条金矿化体，2-1 号水平厚度 0.63m 金品位 31.2×10^{-6}，2-2 号矿体在 390m 标高见水平厚度 0.46m,

金品位 24.9×10^{-6}。矿(化)体呈脉状，矿体与围岩界线局部清楚，矿体走向 95°～110°，倾向南，倾角 60°～70°。矿体产在破碎带中，破碎带宽 1～10m，破碎带由断层泥、碎裂蚀变岩等组成，断层泥厚 5～12cm，灰白色、泥状；地表碎裂蚀变岩呈灰（如图 2-4）～黄红色（氧化色）（如图 2-5），粒度 0.2～5cm，呈棱角状。矿化主要见细粒黄铁矿、褐铁矿。细粒黄铁矿多呈浸染状，细脉状；褐铁矿一般在裂隙中呈脉状，宽 0.5～1mm，部分呈斑点状。

2-3 号矿化体：由 TC602 单槽控制，蚀变破碎带宽 5m，带内见呈砂状蚀变二长花岗岩，见红色呈斑点状褐铁矿化，金矿化体呈脉状，走向 75°，倾向南东，倾角 60°，幅宽 0.80m，金品位 12.8×10^{-6}。

2-4 号矿化体：由 0 线 ZK2/0 控制斜深 15m,地表没有工程控制，为黄铁矿化蚀变岩，蚀变见硅化、绢云母化、碳酸盐化。黄铁矿呈细粒斑点、细脉状。矿化体宽 0.52m。详见矿体特征及钻孔见矿情况一览表（表 2-4、表 2-5）。

表 2-4 矿体特征一览表

Tab 2-4 The list of orebody characteristics

矿（化）体号	规模(m)		产状(度)			品位(10^{-6})		矿化类型	控制工程
	长	幅宽	走向	倾向	倾角	最高	平均		
2-1（东段）	320	1.00	110	SW	60	40.8	34.95	蚀变破碎带	TC401、ZK2/0、ZK1/8
2-2 西（5～25 线）	480	1.07	95	SW	65	94.6	45.4	蚀变岩蚀变破碎带	TG604TC601-2、TC606、TC719、TC720、TC721
2-2 东段（5～8 线）	320	1.94	110	SW	70	506.3	150.3	蚀变岩蚀变破碎带	TC604、TC607、TC406、TC402、TC412
2-3		0.80	100	SW	50	12.8		蚀变破碎带	TC602
2-4		0.52	110	SW	60	48.5		蚀变破碎带	ZK2/0

表 2-5 钻孔见矿情况一览表
Tab 2-5 The list of Drilling mine situation

矿体号	线号	孔号	见矿位置				采取率 (%)	品位(10^{-6})		矿化类型
			自至米数 (m)	进尺 (m)	实长 (m)	见矿标高 (m)		Au	Ag	
	8	ZK1/8	43.91-43.05	1.14	1.14		100	31.2	0.25	蚀变破碎带
2-1	0	ZK1/0	3.65-4.65	1.00	1.00		100	5.6	0.10	蚀变破碎带
	0	ZK2/0	43.21-43.51	0.30	0.30		100	5.8	0.28	蚀变破碎带
2-4	0	ZK2/0	10.86-11.56	0.70	0.70		100	48.5	0.35	蚀变破碎带
	8	ZK1/8	123.56-124.56	1.00	1.00		100	24.9	0.26	蚀变破碎带
	7	ZK1/7	153.50-154.3	0.80	0.80	354	100	82.0	0.19	蚀变破碎带
2-2	15	ZK1/15	156.81-157.61	0.80	0.80	405	100	294.0	0.25	蚀变破碎带
	23	ZK1/23	139.62-139.92	0.30	0.30	414	100	77.1	0.14	蚀变破碎带

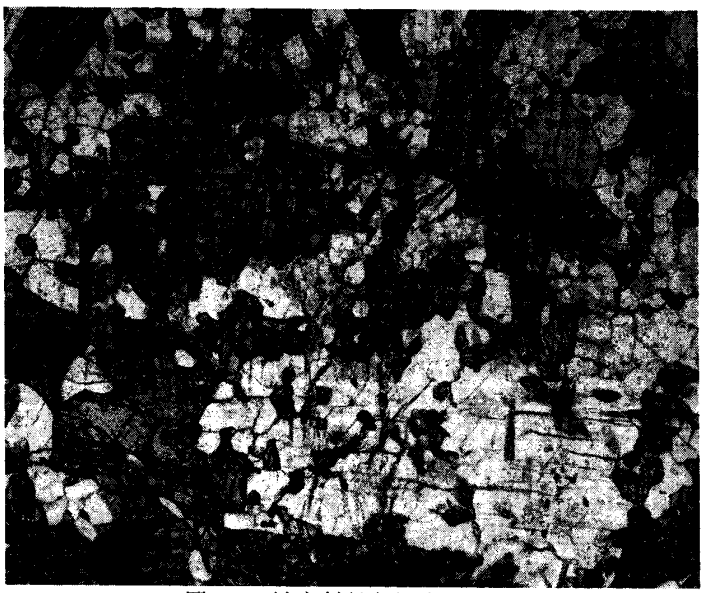


图 2-6 蚀变斜长角闪岩
Fig 2-6 The alteration of plagioclase amphibolite

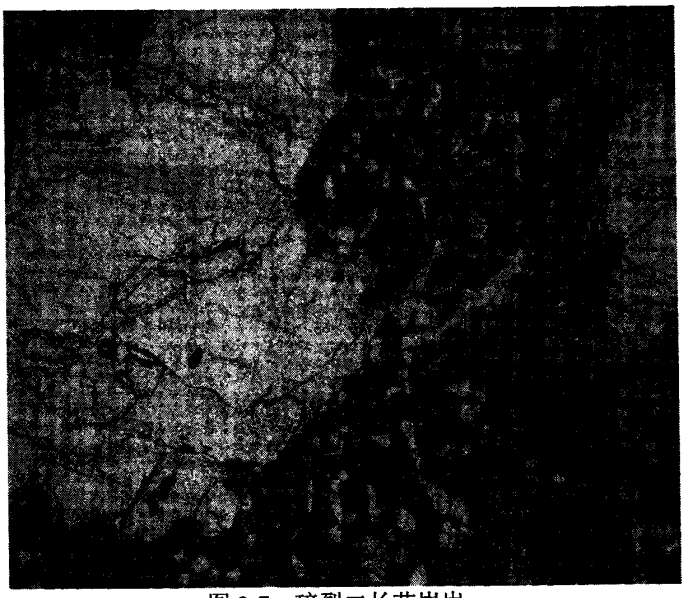


图 2-7　碎裂二长花岗岩

Fig 2-7　fragmentation monzogranite

金矿（化）体主要围岩是上、下盘多见有斜长角闪岩，局部为蚀变斜长角闪岩；矿体上盘一般为碎裂或破碎蚀变岩、碎裂二长花岗岩。斜长角长岩：深灰～黑色，中～细粒结构，块状构造、主要成份：角闪石为主，斜长石、石英、绢云母等少量。蚀变岩：黄～微红色、细粒结构，块状构造。主要成份：长石、石英、绢云母，见细粒黄铁矿。

闪长岩一般无蚀变，颜色较新鲜；矿体上下盘及蚀变岩主要蚀变有绢云母化、硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、退色化、绿帘石化等。自矿体向上盘由近及远蚀变由强变弱。

2.6 化探异常圈定

对所采的样品化验结果进行了计算，。具体方法如下：

用公式：$\bar{X}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}X_i$，$S_x=\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i-\bar{X})^2}$ 计算背景值及标准离差。

式中：$\bar{X}$ 为背景值

S_X 为标准离差

N 样品数 X_i 第 i 个 X 的值(i=1,2,3……N)

为了避免结果偏高，先粗略的计算出平均值 $\bar{X}$ 和标准离差 S_X，把大于 $\bar{X}+$

$3S_X$的数据去掉。最后算出可以利用的$\bar{X}$和S_X，然后用公式$C_A = \bar{X} + \delta S_X$确定异常下限，通过计算，各元素的平均含量及异常下限见表2-6。

表2-6 土壤测量地球化学参数表

Tab 2-6 Soil measurement of geochemical parameters in Table

元素项目	Au	Ag	Cu	Pb
$\bar{X}$	0.80	0.13	28	28
S_X	0.30	0.10	8	5
δ	2.00	2.00	2.00	2.00
C_A	*1.60*	*0.33*	*44*	*38*

注：单位Au为10^{-9}、余者为10^{-6}

2.7 化探异常特证及解释推断

砬子河区属森林地球化学景观区，因该区覆盖层较厚，基岩出露不好，植被发育，雨水充沛，较适合进行以水系沉积物测量及土壤测量为主的化探工作。

通过土壤地球化学测量，该区发现Au、Ag、Cu、Pb组合异常7处。Au异常3处，Ag异常2处，Cu异常1处，Pb异常1处，共14处，其中较为有意义的异常8处。

异常分布主要集中在2-1、2-3、2-4号金矿化体和2-2号金矿体所分布的地段上，其外围有少量的低缓异常。

主要组合异常元素特征：

Ht08-1号组合异常：元素组合为Au、Ag、Pb、Cu为一套主要成矿元素Ag和伴生元素Pb套合好的特点，说明二者紧密伴生，显示中低温热液成矿特点。

Ht08-2号组合异常：元素组合为Au、Pb，为一套成矿元素与中程指示元素的组合。显示中低温热液特点。

Ht08-3号组合异常：元素组合为Ag、Pb，为一套成矿元素与中远程指示元素的组合。显示中低温热液特点。

Ht08-4号组合异常：元素组合为Au、Ag、Pb、Cu为成矿元素与中程指示元素的组合，中低温热液特点。

Ht08-5号组合异常：元素组合为Ag、Pb、Cu为成矿元素与中程指示元素的组合，Pb元素与Ag元素套合好，说明二者紧密伴生，具有中低温热液

特点。

Ht08-6 号组合异常：元素组合为 Ag、Cu 为成矿元素与中程指示元素的组合，中低温热液特点。

Ht08-7 号组合异常：元素组合 Ag、Pb、Cu 显示中程元素低温热液的组合特点。

单元素异常特征:

Au：主要有分布在测区中部 HtAu08-1、 HtAu08-2 主要分布二长花岗岩中，异常分带性差，没有浓集中心，最高值 5.5×10^{-9}。

Ag：有两处低缓异常 Ag08-1、 Ag08-2，相伴于主要异常的周围，异常分带性差，没有浓集中心，最高值 0.9×10^{-6}。

Cu：分布广泛低缓，没有浓集中心，分带性差，最高值 109×10^{-6}。

Pb：分布在测区南部边缘。没有浓集中心，分带性差，最高值 114×10^{-6}。

2.8 本章小结

研究区位于吉林省抚松县北东部，行政区划属抚松县露水河镇管辖。研究区面积 27.47km^2。主要地层为中太古宇—下元古宇上壳岩及古侵入体变质岩。本区表现有 6 个单元。要构造为北东向二道松花江断裂带及四道溜河～五道砬子河韧性剪切带，其次为近东西向、北东向断裂。区域经过 1：5 万水系底沉积物测量，获得 5 处 Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Mo 组合异常，其强度 Au：$5\sim10\times10^{-9}$，Ag：$0.3\sim0.9\times10^{-6}$，Cu：$55\sim99\times10^{-6}$，Pb：$50\sim55\times10^{-6}$，Zn：$100\sim153\times10^{-6}$。研究区共发现 1 条(2-2)矿体；3 条矿化体(2-1、2-3、2-4)。

第3章 研究区金矿床的成矿条件

3.1 金的基本性质

金是化学元素周期表第六周期 IB 族元素，次外层电子数为 18，外层电子数为 1。具有亲铁、亲硫性。电负性、电离势、氧化还原电位等均较高。化学性质显惰性。在自然界中，主要以原子状态存在。在水溶液中，金原子几乎不溶于水，哪怕只有十分微少的金，也会迅速沉淀下来[18]。因为金的地壳丰度只有 lng/g，要形成工业品位的矿石，需要经过数千，乃至上万倍的富集。

金虽然是一种化学性质不活泼的元素，但在高温环境下，也会变得不稳定而发生电离。当溶液中有含量较高的 HS^-、S^{2-}、CN^-、CO_3^{2-}、CN^-_3 及卤族元素时，金能和它们构成络阴离子。特别当热液富含碱质时，这种络合物在热液中有较高的溶解度。

在低氧化还原电位的高温高压热液中，金主要以正一价氧化态形式出现 Au^+具有电离势高(8778J/mol)，半径大(0.137nm)，极化性强，外层有多变位的 d 一电子等特点。是一种松散的电子接收体(Seward T M，1988)，与 HS^-之类松散的“b”类配位基相互结合，在能量上是优先的。因而，下列金的硫氢化物络合物对金在热液中的迁移循环十分有利：

$[Au(HS)]^0$ 在酸性介质中稳定存在；

$[Au(HS)S]^{2-}$ 在碱性介质中稳定存在；

$[Au(HS)_2]^-$ 在弱酸至弱碱性介质中稳定存在。

金与卤族元素也能结合成易溶的络合物。结合能力及其在热液中的稳定性，依 Cl^--Br^--I^-顺序增加。由于热液中氯的含量比溴和碘大得多，在自然界中以金氯的络合物较为重要。

Au^+在热液中可呈简单化合物．AuCl 和络合物$[AuCl_2]^-$两种形式出现。但简单化合物在热液中极不稳定，很快被分解并歧化：

$$AuCl===Au^+ + Cl^-$$

$$3Au^+ \rightarrow Au^{3+} + 2Au^0$$

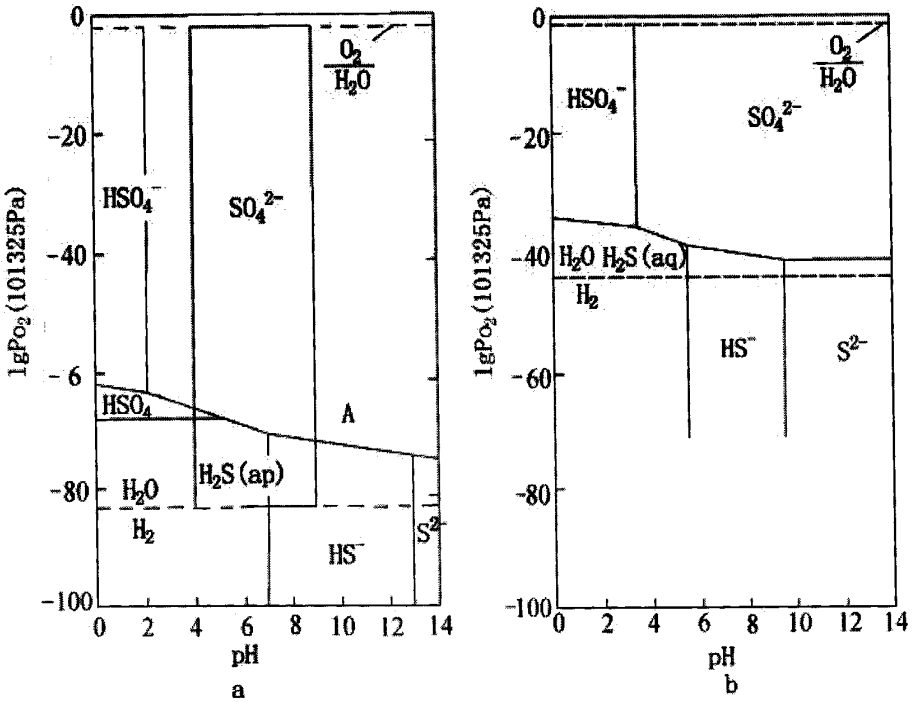
Au^{3+}的离子电位较高。酸性较 Au^+强，故能够形成随介质酸碱度从酸性向碱性变化的$[AuCl_4]^-$、$[AuCl_3(OH)]^-$、$[AuCl_2(OH)_2]^-$、$[AuCl(OH)_3]^-$金氯化物络合物系列。

大量实验数据表明，环境温度对金硫氢化物络合物和金氯化物络合物在热液中的稳定性有很大的影响。范宏瑞(1991 年)的实验结果表明，当 t=250℃时，以金氯化物络合物形式从岩石中浸出的金，淋滤迁出率仅为 5.4%；t=350℃时为 6.81%；t=450℃时为 17.41%；t=550℃时为 17.69%。以金硫氢化物络合物形式从岩石中迁出金的数量恰恰相反，当 t=250℃时，淋滤迁出率高达 28.4%；t=350℃时降低到 18.92%。Seward T M(1988 年)有关金在 350℃的 NaCl-HCl 溶液中溶解度的测定结果也表明，在接近中性的氯化物溶液中，金是很难溶解的，此时，$[AuCl_2]^-$比$[Au(HS)_2]^-$在溶液中的稳定性低约 20 个数量级[19-21]。

在还原条件下，热液中的硫以 H_2S、HS^-、S^{2-}形式存在，其综合平衡化学反应式为：

$$H_2S===H^++HS^-===S^{2-}+2H^+$$

各种形式在热液中的相对含量，受温度和酸碱度制约。图 3-1 是在 25℃和 227℃条件下，热液中不同形式硫的优势场相图。不难看出，随着温度的逐渐升高，HS^-的稳定范围越来越小，而 S^{2-}的稳定范围逐渐增大。当温度超过 290℃时，HS^-的稳定域就很小了。HS^-的减少，势必影响金硫氢化物络合物的稳定性。



（据克劳斯科普，1967 年）a-t=25℃ b-t=227℃ ∑S=0.001mol

图 3-1 硫优势溶解场相图

Fig 3-1 Dissolution of sulfur advantages field phase diagram

综上所述，当温度在400℃以上时，金主要以金氯化物络合物（介质由酸性到碱性依次$[AuCl_4]^-$、$[AuCl_3(OH)]^-$、$[AuCl_2(OH)_2]^-$、$[AuCI(OH)_3]^-$、$[AuCl_2]^-$）和其他金的卤化物络合物形式在热液中稳定存在。当温度在400℃以下时，金主要以硫氢化物络合物（介质由酸性到碱性依次为$[Au(HS)]^0$、$[Au(HS)_2]^-$、$[Au(HS)S]^{2-}$）形式在热液中稳定存在。

由于砬子河区金矿床为浅成低温热液型金矿床，金沉淀时的温度在350℃以下，热液一般呈弱酸到弱碱性。因而，$[Au(HS)_2]^-$是金在热液中迁移循环的重要形式。

3.2 金沉淀富集成矿的理论分析

（1）含金热液是一种过压流体

众所周知，地下深处的含金热液，在长期的演化过程中，不断地得到地下深处热源的补给，使流体内能不断地增加。因静水压力随深度的增长速度比静岩压力随深度的增长速度小得多。在准封闭条件下，抑制了热液沸腾汽化作用的发生，使含金热液成为过压流体。

（2）金硫氢化物络合物是金在热液中迁移最重要的存在形式

在3-1中已经得知，在中低温条件下，金以硫氢化物络合物的形式迁移。在自然界中，热液多显示弱酸性——弱碱性，因而，砬子河地区的金以$[Au(HS)_2]^-$形式存在。

（3）促使金硫氢化物络合物解体的异常事件导致金沉淀

受金的地球化学性质所制约，金硫氢化物络合物的解体，使络合物状态的金离子转化为金原子。金原子在水溶液中几乎不溶解，在热液中哪怕只有很微少的一点儿金，也会迅速沉淀下来。络合物的解体势必会使金发生沉淀。以下因素能使金硫氢化物络合物解体：

① 构造因素。局部空间上发生的构造活动，是一种地质异常事件。使围岩在某些方向上发生破裂，形成减压空间。当环境压力等于或低于过压热液的内压时，热液就会发生沸腾。在该方向上，水力压裂作用扩大了围岩的破裂面积和破裂幅度，形成大大小小的裂隙。裂隙形成的瞬间成为减压空间。沸腾是一种汽化过程，热液汽化时体积增大100～1000倍，从而产生强大的扩容作用，导致水热爆炸事件的发生。由于是过压热液因环境压力的突然降低而发生的沸腾，因而是一种不平衡条件下的绝热降温过程。会使热液中那些具有高能量的组分如CO_2、H_2S、N_2、H_2、CH_4、NH_3、B、F_2、Cl_2、Br_2、I_2、Hg、Sb、As以及那些具有高能的水分子等，迅速转化为蒸气向减压空间

（裂隙、孔隙）逃逸。这些逃逸的物质在热液中所占比例大小，除受它们在热液中的含量控制外，还受热液过压程度和环境减压幅度的控制。从布朗 K L（1986 年）对新西兰的布罗德兰兹和卡韦劳地热田深部热液所做的沸腾实验结果可见，经两次减压沸腾，使 39.98%的热液汽化逃逸。另据布坎南 L J（1981 年），在瓜那华托矿区，沸腾使该区热液逸失大约 24%。

大量高能组分的逃逸，使剩余热液的温度和压力下降。例如，新西兰地热田热液沸腾实验结果，第一次沸腾，热液温度从 260℃降低到 185℃，压力从 3.5～4MPa 降低到 1.1MPa；第二次沸腾，热液温度从 185℃降低到 98℃，压力从 1.1MPa 降低到 0.1～0.5MPa。温度和压力的下降，使金络合物在热液中的溶解度降低，有利于金沉淀。

二氧化碳及其盐类都是弱电解质，起酸性缓冲剂作用，控制 pH 值的变化。化合价不同的碳化合物相互间关系，决定着热液氧化还原电位的大小。因而控制了所有变价元素的行为。其中包括决定成矿作用发育程度的硫化物硫、硫盐硫与氧活度的相互关系。由下列反应式：

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow C0_2(\text{蒸气}) + H_20$$

$$HS^- + H^+ \rightarrow H_2S(\text{蒸气})$$

可见，大量 $C0_2$ 和 H_2S 转入气相逃逸，使剩余热液的 pH 值增高。例如，新西兰地热田地下热液的沸腾实验结果表明，第一次沸腾使热液 pH 值从 6.26 升高到 7.85；第二次沸腾使 pH 值从 7.85 升高到 8.44。德拉蒙德 S E 和大本洋(1978 年)的实验资料表明，含 0.1mol $C0_2$(液体)的 NaCl 溶液，在 250℃时，若有 3%的溶液变为蒸气相，就会使 pH 值升高一个单位。热液 pH 值的升高，提高了金络合物在热液中的溶解度，这似乎不利于金的沉淀，而实际上是，H_2S 的大量逃逸，从物质基础上断绝了 $[Au(HS)_2]^-$ 形成的可能性，pH 值的变化对于极少量的 $[Au(HS)_2]^-$ 来说，其影响显然是无足轻重的。

热液中高能水分子的大量汽化逃逸，使剩余热液的含盐度大幅度增高。例如，上述新西兰地热田地下热液经两次沸腾后，剩余热液的∞(含盐度)从 0.87%升高到 1.45%。热液含盐度的大幅度提高，有利于金的沉淀。

CO_2、CH_4、$S0_2$、H_2S 等的汽化热不同，在沸腾汽化过程中，CH_4 和 H_2S 分配到蒸气相的速率分别大于 $C0_2$ 和 $S0_2$ 分配到蒸气相的速率。因而沸腾会使剩余热液中的 CO_2/CH_4 和 $S0_2/H_2S$ 增大，导致热液氧逸度的升高。有利于金的沉淀。

H_2S 的大规模逃逸使下列化学反应式的平衡向左方移动：

$$Au(\text{固}) + H_2S + HS^- ==== [Au(HS)_2]^- + H^+$$

导致 $[Au(HS)_2]^-$ 的大量解体，使金发生大规模的沉淀。例如，新西兰地热

田地下热液的沸腾实验，经两次沸腾后，剩余热液的 H_2S 含量（0.7×10^{-4}mol/kg）仅为沸腾前含量（1.9×10^{-3}mol/kg）的 14.21%。两次沸腾结果，使剩余溶液的金含量从沸腾前的 1.64ng/g 降低到 0.06ng/g,，从而使热液中 97.8%的围岩的金沉淀下来。

突然出现的任意大小的裂隙，对于过压热液而言，都是减压空间。这势必会在局部空间发生沸腾而使一定量的$[Au(Hs)_2]^-$解体，使金在裂隙中沉淀下来。裂隙旁侧则不发生金矿化。这可能是热液型金矿体中金含量变化极大的主要原因。

由于金在矿液中的含量很低（$n\times10^{-2}$～$n\times10$ng/g），热液经一次沸腾，即使所有的金都沉淀下来，在绝对数量上也是极少的。要形成具有工业意义的金矿石必须反复多次地发生“沸腾——金大量沉淀”作用才行。这就要求在一个成矿期中发生频繁多次的构造活动，形成无数次的减压空间。因而，频繁多次的构造活动是矿体成生的重要控制因素之一。例如，对腾冲热海金矿化区含金硅质岩脉中的硅质角砾岩研究结果表明，具有 2 次水热爆炸显示的岩石，金平均含量为 0.0473μg/g。具有 3 次水热爆炸显示的岩石，金平均含量为 0.0962μg/g。具有 4 次水热爆炸显示的岩石，金平均含量为 0.1714μg/g。具有 5 次水热爆炸显示的岩石，金平均含量为 0.311μg/g。具有 6 次水热爆炸显示的岩石，金平均含量为 0.7652μg/g，随沸腾次数的增多，金含量具有平稳上升趋势。

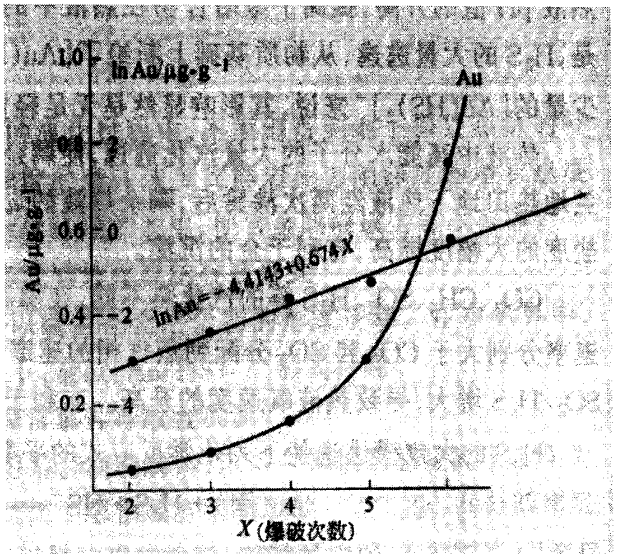


图 3-2　金含量与沸腾次数图

Fig.3-2　The content of gold and the boiling number figure

图 3-2 表示硅质角砾岩金含量与沸腾次数的关系。从图可以看出，金含

量与沸腾次数之间存在指数分布关系。经变换后，计算两者之间的相关系数为 0.9966。当自由度 f=3，信度 a=0.05 时，检验临界值 r_a=0.8783。表明金含量对数值与沸腾次数密切相关。以沸腾次数为自变量，金含量的对数值为因变量进行线性回归分析，得回归模型：

$$Au=e^{(-4.4143+0.674N}$$

式中 N——沸腾次数。

对回归模型进行差异显著性检验，得 F=444.1。当第一自由度为 1，第二自由度为 3，信度为 0.05 时，检验临界值 F_a=5.54。差异极为显著。表明用该模型计算金含量，能够得到较客观的结果。进一步做区间估计，得 δ=0.1012。则金含量的自然对数值在区间（-4.6167+0.674N，-4.2119+0.674N）内取值概率 95%。用该模型计算结果表明，沸腾 10 次使金沉淀累积的金品位达到 10.23μg/g[22]。

沸腾后剩余热液的温度和压力大幅度降低，对于近于二氧化硅饱和溶液来说，是重要的沉淀因素。例如，新西兰某地热田地下热液温度 260℃，压力 3.5～4MPa，二氧化硅含量 552μg/g。经计算，相应压力下，260℃时，二氧化硅在热液中的溶解度为 536μg/g。基本上属于二氧化硅饱和溶液。经两次沸腾后，剩余热液温度下降到 98℃，压力降至 0.1～0.5MPa，二氧化硅含量为 920μg/g。而此时二氧化硅在热液中的溶解度下降到 18μg/g，这种突如其来的变化，会使热液中 98.06%的二氧化硅迅速沉淀下来。金和二氧化硅的沉淀机制虽然不同，但它们都是因同一空间上的热液发生沸腾而大规模沉淀的。这可能是热液型金矿床总是伴随有大量二氧化硅矿物的主要原因。

② 围岩因素。热液与围岩接触时，两者之间会发生物质交换反应。当围岩含有丰富的 Fe、Mn、Ca、Mg 时，这些化学组分会与热液中的 H_2S、$C0_2$、S、As 等相结合，形成难溶的碳酸盐类、绿泥石、黄铁矿、毒砂等。H_2S、$C0_2$、S、As 等是组成易溶的金络合物的配位基，热液中这些组分的大量消耗，势必导致金络合物的解体，使金从热液中迅速沉淀下来。

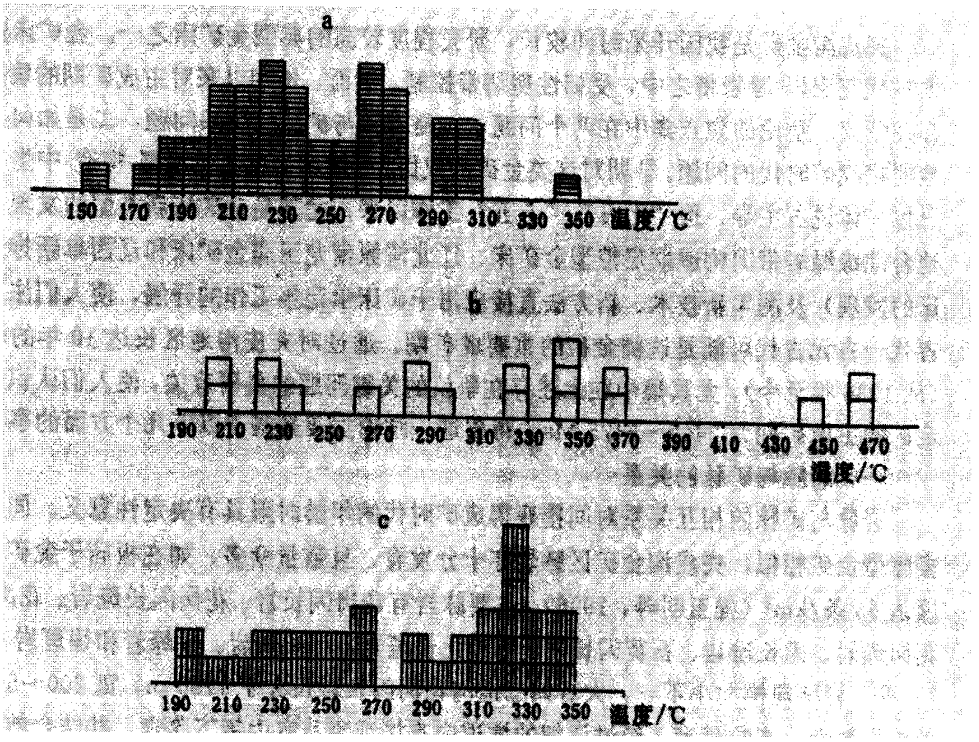
若围岩含有较高的碳质，碳质对含金热液的还原作用，会使金从离子状态还原成原子状态而发生沉淀。

综上所述，热液在正常的迁移循环中，若遇到富含 Fe、Mn、Mg、Ca 及碳质的岩石，并且热液与围岩有足够大的接触空间时，会导致金络合物解体，使金沉淀富集成矿[23]。

碛子河区内的岩石主要地层为中太古宇—下元古宇上壳岩及古侵入体变质岩，并且含有大量的褐铁矿和黄铁矿，岩层内含有大量裂隙和蚀变，为金的沉积提供了有力的条件。

3.3 成矿温压条件

成矿温度是用含金石英脉中石英包裹体均一化温度、金属硫化物矿物对硫同位素平衡温度和包裹体爆裂温度进行估计的，见图 3-3。该图表明，成矿温度主要为 150～370℃，其中均一化温度 150～350℃，爆裂温度 190～350℃，硫同位素平衡温度 200～370℃。前者偏低，后两者偏高。由于测定的均一化温度，是均一化的最低温度，可视均一化温度为成矿的下限温度，爆裂温度和硫同位素平衡温度为成矿的上限温度[36]。



a——均一化温度　b——硫同位素平衡温度　c——爆裂温度

图 3-3　金矿成矿温度统计分布对比图

Tab 3-3　Comparison chart of gold mineralization temperature distribution

由图 3-3-a 看出，均一化温度近似正态分布，众值为 240～250℃，表明均一化温度是近似正态分布的随机总体，是同成矿期的温度分布特征。同时，该正态分布具有两个次级正态分布趋势：一个是低温正态分布，众值 220～230℃，温度范围 150～300℃；另一个是高温正态分布，众值 260～270℃，温度范围 200～330℃。低温正态分布主要是液态包裹体均一化温度，主要产在细粒次透明石英中的包裹体均一化温度。一般来说，细粒次透明石英是含金石英脉的主体石英，所以，低温正态分布是主成矿阶段温度。高温正态分布主要为含液态 CO_2 包裹体均一化温度，主要分布在粗粒透明石英中，是早

期石英成矿阶段的温度。砬子河区金矿床成矿温度在150～300℃之间[37]。

成矿压力变化较大。用CO_2密度法计算的压力可分成3个范围：0.193～0．233GPa，0.304～0.365GPa，0.618～0.689GPa；用CO_2比容法计算的压力同样可分成3个范围：0.180～0.230GPa，0.325～0.360GPa，0.720～0.920GPa；在H_2O-CO_2体系中表示气相或液相组成的等温曲线图交汇的压力为0.775～0.825GPa；用CO_2包裹体估计的压力为0.945GPa；吉林地研所测定成矿压力为1.150～1.878GPa。据此推断，砬子河区内金矿成矿压力可能为0.618～1.878GPa。

3.4 矿床成因

综合前述矿床地质特征、控矿条件分析，关于砬子河金矿床的成因类型划分可以从以下几方面加以判断：

（1）矿床的含金石英脉皆位于花岗岩侵入体的接触变质带内，距离0～350m，且花岗岩中含有微量黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿和方铅矿等硫化矿物；岩体含金丰度较高且数理统计分析表明岩体为成矿作用提供了大量As、Sb及Au、Ag、Cu、Pb、Bi等成矿元素；花岗岩中与矿脉中的金属元素在种类上和数量上可相互对比等。因此，砬子河花岗岩体与金矿床有成因上联系。

（2）金矿床中某些特征表明其属岩浆热液成矿特点，如含金石英脉中含有微斜长石、电气石和白云母等高温气成矿物；矿石中见有黄铁矿和黄铜矿的固溶体分离结构，其形成温度在350～400℃；围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化为主，局部出现黑云母化。

（3）含金石英脉的分布受寒武--奥陶系的控制，矿化以石缝组岩层中为好，表现出明显的层控性质。但远离花岗岩接触变质带，只见有金矿，未有金矿体。

（4）含金石英脉的展布、形态、产状受断裂构造控制[39-40]。

综上所述，砬子河金矿床在成因上属于一种复成岩浆热液金矿床，受花岗岩、地层及断裂构造三者的联合控制。

3.5 热液迁移循环的主要动力

众所周知，地下深处的热液赋存与各种裂隙、孔隙构造的裂隙系统中。这种系统如果是一成不变的“死”空间。尽管热液本身具有高温过压性质，它们在其中也无法流动，因而不能进行迁移循环。热液各部分温度、压力和物质成分的不均衡，只能通过传导的方式进行内部调节，使不同空间上热液的

温度、压力逐渐趋于平衡。不同空间热液物质成分的不均衡，也只能靠扩散作用方式进行内部调节，使之达到平衡状态。不难想象，这样的平衡速度是相当缓慢的。上述平衡过程和结果，使物质成分在热液中达到均一化，对成矿十分不利。

断裂构造活动经常不断地发生，会不断地改变裂隙系统的内部结构。在断裂构造活动作用下，原来张开的裂隙有可能闭合，原来闭合的裂隙有可能张开，原来没有裂隙的空间有可能产生新的裂隙。这些变化都会改变裂隙系统的内部结构，使热液所处环境压力条件发生大幅度的改变。张开裂隙的闭合会产生压力，闭合裂隙的张开及新裂隙的出现会产生减压空间。这一切都会引起高温过压热液的流动而发生迁移循环。如果构造活动经常不断地发生，裂隙自身的张开与闭合，裂隙空间的扩容与收缩，以及新裂隙的产生等，会随着时间的向前推移，伴随着构造活动，在不同的空间上出现，这就意味着热液赋存环境不断地有新的减压空间出现，使热液不断地发生迁移循环。可以基本断定，热液本身特有的高温过压性质和频繁不断发生的构造活动也是砬子河区热液迁移循环的主要动力[24]。

3.6 矿化富集规律

经多方研究和采矿实践；总结研究区金矿化富集有如下规律：

（1）含金石英脉金矿化富集者的特征是脉体呈烟灰色、暗绿色，中细粒结构，比重较大（2.65），油脂光泽强，性脆，且挥发分含量少。

（2）在含金石英脉体膨胀、变窄、尖灭端和厚度稳定部位，金矿化富集。

（3）含金石英脉中有条带状含碳围岩夹石部位，碳质和绿泥石成分增加处，金矿化富集。

（4）含金石英脉中金属硫化物富集且呈细粒结构或结晶程度差的部位，金矿化富集。

（5）含金石英脉纵裂隙发育部位，脉体两侧，尤其是底盘，金矿化富集。

（6）含金矿石中以条带状和细脉状构造矿石金矿化较好。

（7）从构造控矿角度看，构造带转折端、裂隙交叉处和石英脉倾角变陡部位，金矿化富集。

与此相反，金矿化贫化、含金石英脉尖灭的特征是：

（1）含金石英脉由单脉逐渐分懈为许多扁豆状石英咏或被石墨粘土带所代替，石英小扁豆状体断续分布于石墨粘土带中，则金矿化显著减弱，且金属矿物组合变为单一的黄铁矿。

（2）含金石英脉一般在石缝组角岩化岩石，即含碳云英角岩与长石角闪石角岩互层带中金矿化较好。

（3）含金石英脉体在深部倾向转向北东，脉体变缓，金矿化显著贫化[45]。

3.7 岩浆岩的成矿作用

在本区自太古宇～下元古宇表现为六个单元，除上壳岩外，另五个单元均为古老的侵入体，经后期变质作用形成了中级变质岩。主要岩性为花岗岩类及斜长片麻岩、角闪岩等。显生宇侵入岩在本区较少，主要为侏罗纪辉石闪长岩(δ)呈脉状，长几十～几百米，宽几米～几十米，侵入到唐胡店沟二长花岗岩中较多，其与斜长角闪岩不易区别。早白垩世蜇麻子沟花岗斑岩($Zh\gamma\pi k_1$)，分布于该区中部，面积 1.0km^2，呈椭圆状。岩石呈肉红色，斑状结构，斑晶为斜长石，基质为长石，石英呈文象结构。副矿物有锆石、榍石、磁铁矿。矿化与岩浆活动共同产出的特点都很普遍，金矿化与长英质岩浆活动、碱性岩浆活动和煌斑岩、脉岩的关系长期以来一直引起许多学者的极大兴趣。尽管矿化和岩浆活动的成因联系依然悬而未决，但矿化与岩浆活动的时空关系是客观存在的事实。

3.8 本章小结

（1）由于砬子河区金矿床为浅成低温热液型金矿床，金沉淀时的温度在350℃以下，热液一般呈弱酸到弱碱性。因而，$[Au(HS)_2]^-$是金在热液中迁移循环的重要形式。

（2）通过测定矿成矿压力可能为 0.618～1.878GPa，成矿温度在 150～300℃之间。

（3）热液本身特有的高温过压的性质和频繁不断发生的构造活动也是砬子河区热液迁移循环的主要动力。

（4）研究区内金矿化富集规律主要有：在含金石英脉体膨胀、变窄、尖灭端和厚度稳定部位，金矿化富集；含金石英脉中有条带状含碳围岩夹石部位，碳质和绿泥石成分增加处，金矿化富集；含金石英脉中金属硫化物富集且呈细粒结构或结晶程度差的部位，金矿化富集；含金石英脉纵裂隙发育部位，脉体两侧，尤其是底盘，金矿化富集；含金矿石中以条带状和细脉状构造矿石金矿化较好；从构造控矿角度看，构造带转折端、裂隙交叉处和石英脉倾角变陡部位，金矿化富集。

第 4 章 研究区金矿床的控矿因素

成矿作用是特定条件下地质演化过程的产物，这些使金矿质赖以运转和沉淀的基本条件即为成矿控制因素。砬子河区共发现 1 条（2-2）金矿体；3 条金矿化体（2-1、2-3、2-4）。

4.1 构造控矿作用

构造是金成矿作用发生的驱动力和成矿物质运移的通道及容矿空间，因而构造特点直接决定了矿化的空间分布特征。

（1）区域控矿构造格架

砬子河区域主要构造为北东向二道松花江断裂带及四道溜河～五道砬子河韧性剪切带，其次为近东西向、北东向断裂。F_1、F_2 为一组断裂，长约 4km，走向近东西，倾向北，倾角 50°～60°，断裂两侧岩石较破碎，宽几米～几十米，蚀变强，脉岩发育，部分地段银异常较强，F_1 断裂从地表特征、岩石镜下鉴定，均具有韧性剪切带特征，在 F_1 北侧发现的金矿化体（2-1、2-2）即受 F_1 控制，其表现为近东西向破碎蚀变带构造形成金矿（化）体。矿（化）体倾向与其相反，F_1 可能为导矿构造。

（2）剪切变形的控矿特征

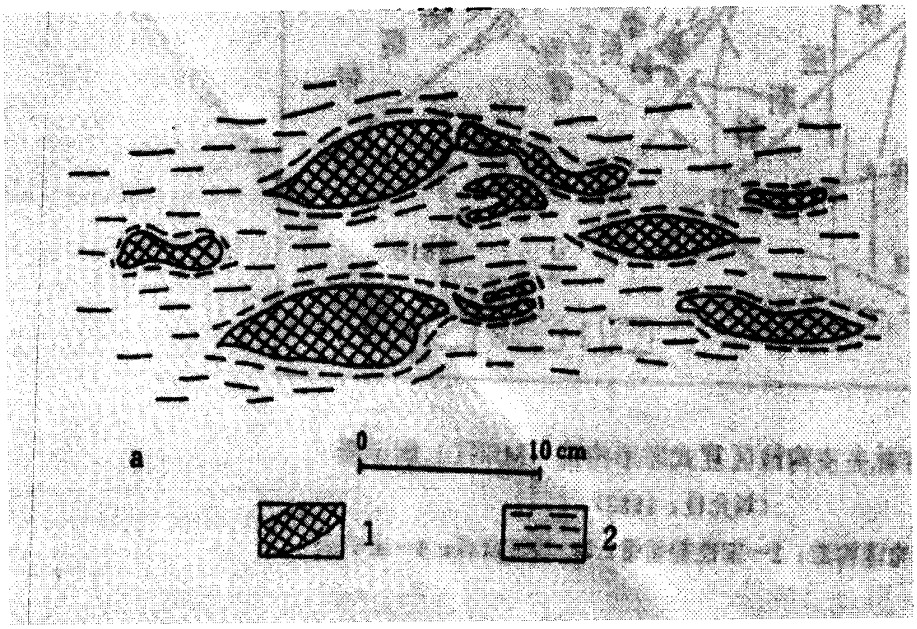
该带为四道溜河～五道砬子河韧性剪切带的东延部分，自黎明林场转为南北向。在本区长 3.5km，宽 1km，带内片理、片麻理发育，倾向东，倾角 40°～60°，中心见强糜棱岩化，向两侧渐弱，带中见鞘皱褶，岩石节理、片理常弯曲，石英具波状消光、变形纹，有眼球状斑块。剪切带内派生的近东西向破碎带见金矿化，金品位 0.5×10^{-6}。也反映了有一定规模的土壤 Au 异常，蚀变强，是寻找金矿有利地段[29-31]。

① 剪切带在成矿中的作用

剪切变形对金矿床控制是近年来金矿床研究的热点之一。剪切带既是深部热流体上升的通道，也是成矿作用的一种表现形式，因为大规模的剪切活动释放出大量的构造热动力，使剪切带内矿物发生热液交代、退变质作用，从而使矿质活化迁移。韧-脆性剪切带还是地壳中重要的物理化学条件的转变带，该带以下岩石的渗透率低，而其上较大。因此过渡带下部流体通过构造应力、断层泵吸力和地热梯度或岩浆热加热上升，并在过渡带内发生自由对

流，而过渡带以上主要是天水下渗，两种性质和温度不同的流体在过渡带内混合势必造成含矿流体失稳沉淀。

② 剪切带控矿的时间特点



1-含金石英脉　　2-糜棱岩

图 4-1　含金石英脉透状体

Tab 4-1　The shaped body of gold-bearing quartz veins

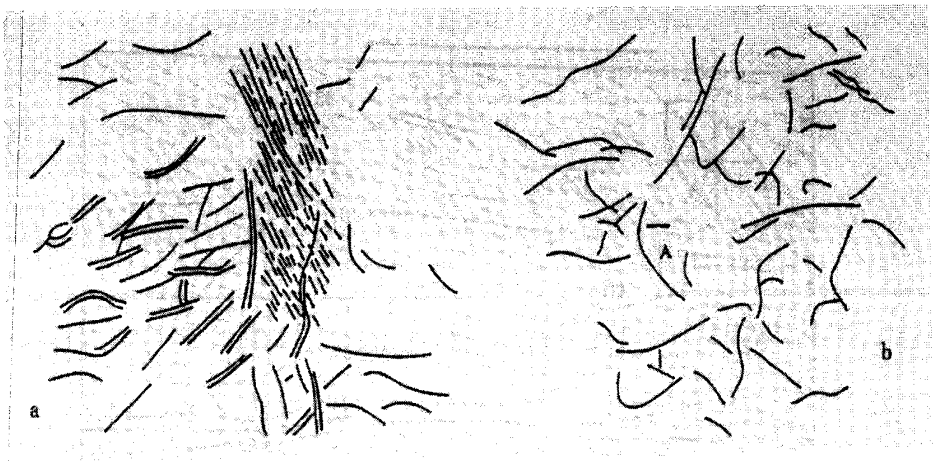


图 4-2　含金石英脉透射电镜下的位错构造

Tab 4-2　The gold-bearing quartz veins under transmission electron microscopy of the dislocation structure

剪切带和金矿脉在时间上关系不外乎有 3 种：一是剪切作用在前，成矿在后；二是剪切作用与成矿同时；三是成矿在前，剪切作用在后。在野外观察中常发现含金石英脉具有明显的变形条带状构造，可见含金石英脉被拉断

而呈眼球状或透镜状（图 4-1）。在高压透射电镜下明显可见含金石英脉中石英的位错现象（图 4-2）。据此可以认为，含金石英脉就位于剪切带主要发展阶段（大规模剪切、恢复、重结晶）之后，但并没有超越韧性剪切变形的时期，即就位于剪切作用发育的中晚阶段。

③ 剪切带控矿的空间特征

剪切带不论是在纵向上还是在横向上变形强度都很不均匀。在横向上可见从糜棱岩化、初糜棱岩到糜棱岩的变化规律，而纵向上随着深度的增加岩石的剪切变形也有增强的趋势。金矿脉常产于剪切带强应变带、剪切带转折弯曲部位或主剪切带与分支剪切带的交叉复合部位。从矿体角度看，矿脉常充填于里德尔剪切裂隙和张性裂隙内，矿脉与糜棱叶理产状近乎一致，但有一定的交角，不同方向的矿脉组合与里德尔剪切裂隙模型一致（图 4-3）[32-35]。

总之，剪切带的控矿作用具有时空结构性。从时间上看，含金剪切带经历了长期演化历史，早期以韧性或脆一韧性为主；而晚期在早期的强应变带上叠加了韧一脆或脆性的剪切变形，金矿化与晚期叠加的剪切变形密切相关。从空间上看，剪切变形带的产状直接控制了金矿体的产状；金矿床的产出部位皆是剪切带的复合部位或走向的拐弯部位。

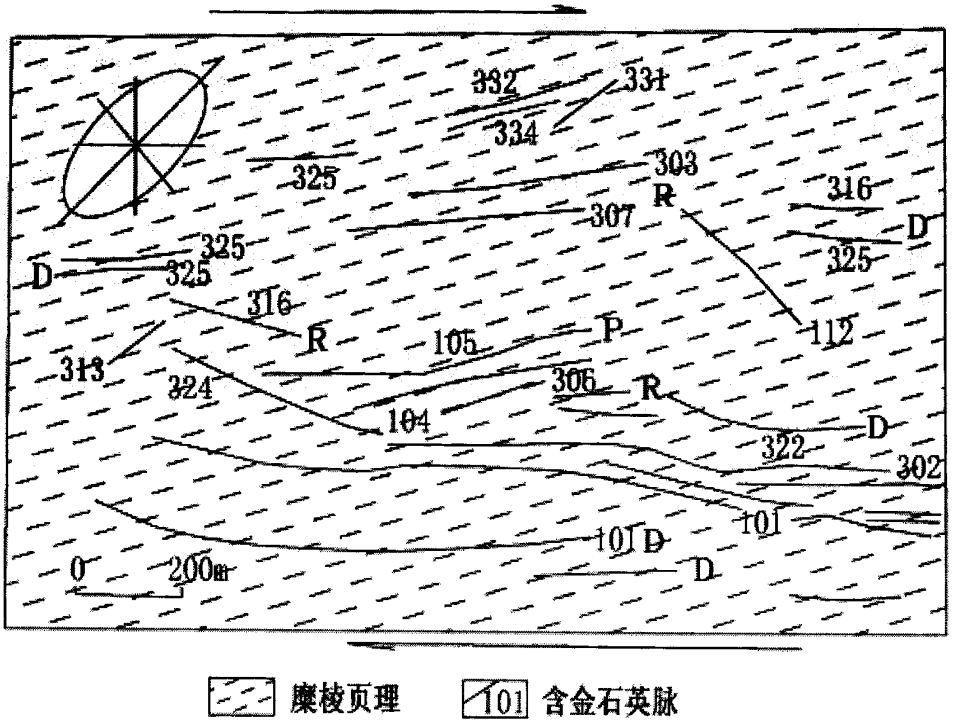


图 4-3 控矿断裂配置分析图

Tab 4-3 Configuration analysis of ore control fault

4.2 岩性地层的控矿作用

一般认为，绿岩带某些特定的岩石是金矿化优选的容矿围岩，镁铁质、超镁铁质火山岩和条带状铁建造等特定的岩石组合在许多金矿成因研究中倍受重视；但是深入的研究表明，世界上典型绿岩带，如加拿大苏必利尔构造区绿岩带里的所有岩石类型均含有金矿化（Colvine 等，1988）[25]。

4.2.1 提供金矿源

在许多绿岩带金矿床的研究中，镁铁质和超镁铁质火山岩被看作是金的来源，这是因为金在地幔中的平均丰度为 5×10^{-9}，约为地壳中金的平均丰度的两倍，因此由上地幔部分熔融而生成的超镁铁质-镁铁质岩携带一定数量可溶的金到地壳上部就是顺里成章的事了。但是后来的研究发现镁铁质岩石的金丰度和其它岩类并无差别，这使得不少学者认为镁铁质火山岩的金含量并非是成矿的必要因素，而有部分学者则相信镁铁质火山岩的原始金丰度是较高的，Keays 等(1982)用 Pd/Au 值等地球化学参数证明镁铁质特别是高镁铁质火山岩的 Au 含量很高，因而是金成矿最有利的矿源。从逻辑上分析，岩石中的金应该包括两个部分，一是易释放金，另一是不易释放金。金的释放与否主要与寄主岩石或矿物的稳定性有关，镁铁质岩石由于含有较多的变价元素和硫化物，化学性质不稳定，易于被蚀变交代或发生变质反应，这样也就使其中的金易于释放。由于砬子河区岩石中含有大量的铁质岩石，这就使其中的岩石或矿物变得不稳定，导致其中的金容易释放，形成矿床[26-27]。

4.2.2 易于变形

从岩石的物理性质上看，镁铁质火山岩与其围岩广泛分布的长英质火山岩有较大的差别，因而应变强度也不一致。这种能干性的差别为韧性剪切和脆性破裂面的发育提供了有利条件[28]。而金矿床与韧性剪切带等构造又有密切的联系，这势必造成了金矿床与镁铁质火山岩在空间上密不可分。在砬子河区岩石中，变质镁铁质火山岩常呈规模不等的透镜体包裹在TTG岩系之中，两者之间常是韧性剪切带发育的地方，因此金矿床与镁铁质火山岩的空间关系实际上也是构造发育的必然结果。

4.2.3 提供沉淀剂

从岩石学特征上看，变质镁铁质火山岩常含有大量的铁等变价元素，因而有利于氧化还原交代反应的进行，这就为金矿热液的沉淀提供了地球化学

圈闭。

4.3 围岩控制因素

热液成矿作用的主要特点之一，是溶液与围岩之间发生物质交换反应。表现为矿物的部分溶解、扩散、离子交换以及难溶产物的沉淀[41]。围岩对矿石沉淀的有利程度，取决于它的可溶性，形成新矿物所需元素在围岩中的存在情况(数量，存在形式)，造岩矿物被金属矿物交代的相对能力等。对于热液中金的沉淀富集成矿而言，重要的围岩控制因素如下：

（1）当中性、基性、超基性岩为围岩时，由于这些岩石含有丰富的 Fe、Ca、Mg、Mn 等，当含金热液扩散流与之接触时，热液中的 $C0_2$、H_2S、S 和 As 等，与岩石中 Fe、Mn、碱土元素相结合，形成难溶的碳酸盐类、绿泥石、黄铁矿、毒砂等。$C0_2$、H_2S、S、As 等是易溶的金络合物的配位基，热液中这些组分的大量消耗，势必导致金络合物的大量解体，使金从热液中迅速沉淀下来。

（2）围岩为富含铁（硫化物、氧化物）的岩石，含金热液中的硫与铁结合成难溶的硫化物矿物，硫的大量减少，会使热液中的硫化氢离子向硫离子转化，导致金的硫氢化物络合物的解体，使金沉淀下来。

综上所述，围岩化学成分对含金热液的影响，使金在不同尺度的地质实体中（造岩矿物、一定的矿物集合体、岩石、岩石——地层综合体及其组合）选择性沉淀，使金矿石有规律地分布在特定的地质实体中[42-44]。

热液与围岩的化学反应，是在热液与围岩的接触面上进行的。接触面积愈大，两者之间的反应愈充分，对热液的改造作用愈大，对金的沉淀愈有利。

热液与围岩接触面积的大小，受围岩的有效孔隙度和围岩变形特征、变形强度所制约。而围岩的构造变形，基本上取决于岩石的塑性、脆性、各向异性及愈合能力等物理特征。可见，围岩的物理性质对热液成矿作用具有重大的影响。

组成岩石的矿物成分、粒度及其结合特点，岩石结构构造等，决定着岩石的构造特性——自然变形条件下岩石的行为特征（包括岩石的各向异性、脆性、塑性、韧性、变形形式等），细而致密的和玻璃状的岩石受力作用时，只能产生裂隙，不发生粒内和粒间的变形。粗粒的岩石则易于发生粒内和粒间变形。具有平行面状构造（层状的、片状的、片麻状的）岩石塑性增强，脆性减低。砾岩、砂岩、斑状构造和块状构造的岩浆岩等脆性增强，塑性减低。此外，岩石不同，有效孔隙度也不一样，因而，热液在不同岩石中的渗

透性有较大的差异。渗透性大的岩石能增加热液与围岩之间的接触面积，有利于矿化作用的发生。矿物的可溶性决定着岩石的愈合能力，即岩石依靠溶解与沉淀自身矿物质而自我愈合正在生长的裂隙的能力。例如，碳酸盐岩石的愈合能力最强，硅酸盐岩石的愈合能力比碳酸盐岩石小得多。

前已述及，围岩对成矿的控制作用，是通过过压热液与围岩接触，两者发生物质交换反应，使热液性质发生大幅度改变，破坏金在热液中原有的赋存平衡状态，使金沉淀富集成矿。因而需具备的必要条件是，必须有使热液发生迁移循环并与围岩大面积接触的因素，这就是构造与构造活动，构造活动在围岩中引发的大大小小的减压空间，促进过压热液的迁移循环。构造作用在围岩中造成的大大小小的各种性质的裂隙，大幅度地增加热液与围岩的接触面积。使围岩对成矿的控制作用得以实现。构造活动在不同成分、结构及不同组构的围岩上作用，所发生的变形截然不同，因而，构造控矿作用和围岩控矿作用是互相制约，相辅相成的。但相对而言，围岩控制因素与构造控制因素相比，构造控制是最重要的，在控矿的诸因素中起纲的作用。

4.4 本章小结

构造是金成矿作用发生的驱动力和成矿物质运移的通道及容矿空间，因而构造特点直接决定了矿化的空间分布特征。由于碌子河区岩石中含有大量的铁质岩石，这就使其中的岩石或矿物变得不稳定，导致其中的金容易释放，形成矿床。在研究区岩石中，变质镁铁质火山岩常呈规模不等的透镜体包裹在 TTG 岩系之中，两者之间常是韧性剪切带发育的地方，因此金矿床与镁铁质火山岩的空间关系实际上也是构造发育的必然结果。热液成矿作用的主要特点之一，是溶液与围岩之间发生物质交换反应。

第 5 章 研究区金矿床模型的研究及矿床类型划分

5.1 模型的概念

模型是通过抽象、简化、类比，使所研究系统的结构、形态或运动状态变为易观测的形式。模型通常有两个方面的含义，其一是指相对于研究对象的原型而建立模型，即使对原型的抽象和仿真；其二是指研究原型所采用的模型化方法。模型基于原型而建立，相似于原型但不等于原型。

从系统论的观点分析，模型是各元素间关系的各种表达形式，因此，建立系统的模型需要从过程和状态这两个方面去寻求各元素之间的关系；从认识论来看，人们从对现实世界的观测中获得概念，形式认识，再将这种认识用某种信息载体（由于信息与客观物体之间有稳定的响应，因此，我们可以用各种物体的状态来表达信息，这种物体就称为信息载体。例如，数据是信息载体；热液与围岩发生反应，矿物的交代表达围岩蚀变的信息，蚀变围岩就是信息载体）表达出来就是模型。这里值得注意的一点是，依据从信息可以加工出信息的观点，在模型和认识之间有着密切的反馈，这就是“用模型研究问题”的现实活动。据此，可以把模型理解为概念集合（信息）的表达系统，也可以更深入一步的说，模型是思维形式的外在表现[49]。

弄清楚模型的本质后，可将模型分为四类，即原样模型、相似模型、图形模型和数字模型。

（1）原样模型：原样模型是与研究对象在结构和过程方面基本相同的实体。例如，在制造汽车、飞机等不太庞大的产品时，往往在转入批量生产前要先造出样机，这样就是原样模型。

（2）相似模型：根据不同系统之间相似规律而建立起的研究用模型。

（3）图形模型：图形模型有丰富的内容。其表达方式包括示形图、示意图、框图、逻辑图、工程图等。示形图、示意图和框图为不严格图，即没有严格确定的规范，作图者往往要附加文字说明，这些图形模型适合于显示那些还不太清楚的问题，因而在成矿规律研究中使用极为广泛。正是借助于这些图型模型来开发构造成矿环境的想象力和创造力，使得所研究的成矿环境变得越来越清晰、越来越具体。

（4）数学模型：数学模型是指运用数字符号和数学公式来表达系统的结构或过程。

模型无所谓真假，模型的价值只在于它的适用性和有效性。模型被用来显示客观事物的状态及其变化，它反映了人们对客观事物认识的思维过程，并能帮助发展这种过程。

建立模型需要有一个模型化的过程，即需要有一个认识问题的辩证过程。模型是人们对事物认识的表达形式和工具，而不是研究问题的归宿，我们所关心的是把问题很好的表达清楚并获得满意的答案。因此，模型本身要被当做一个系统来研究。模型方法论的重要概念之一就是对外延的限定和内涵的开发过程，也就是一个不断深化的认识过程[50]。

实际上，模型作为一种科学，已经被证明在研究那些不能或很难直接观察到的事物或过程时，是行之有效的，用模型（M）来研究原型（O），基于二者之间存在某种相似性（形态的、结构的、行为的、过程的，等等）可以建立 M-O 关系，模型（M）为已知，利用 M-O 关系，来研究未知的原型（O），这就是模型方法的一种简单表达。

5.2 金矿床描述性成矿模型

描述性成矿模型是对一类矿床本质属性的概括，是对该类矿床基本而共同的特征的总结，或者说，是一类矿床输出信息的系统总结。根据定义，描述性成矿模型应代表一类而不仅是一个矿床，因此，首先应在深入研究个别矿床的基础上对矿床进行正确的归类，归类的目的在于揭示一类矿床的共性、共同规律，力求避免把不同类型的矿床归并在一起[51]。

Eckstrand 等（1996）给出了矿床类型的经验定义："矿床类型是指具有（a）共享一套地质属性、（b）含有某种特殊矿产品或矿产品组合的矿床集合。从而，根据定义中的（a）和（b）即可把一类矿床与另一类矿床区分开。由该定义还可得出两个重要的推论：（1）同矿床类型中的矿床可能具有相同或类似的成因；（2）含有代表某一特殊矿床类型的地质属性的岩石组合具有赋存这种类型的矿床的最大潜力。

一般来说，矿床的归类应根据矿床产出的大地构造位置、控矿的构造条件、容矿围岩的种类及变化、矿石矿物成分和组构特征以及工业可利用的矿种等因素。矿床的归类应能容纳新发现的矿床类型，以便指导发现新的矿床。

建立描述性成矿模型利用的原始资料必须真实可靠、切忌带着某种成因观点对原始资料随意取舍。一类矿床的基本特征要通过对数据的统计和对事实的归纳而显示出来。

建立描述性成矿模型还要求从矿床复杂的地质环境中精选具有本质意义

的要素加以系统组合'模型所体现的是一类矿床的基本特征，而不是全部属性。描述性成矿模型最基本的属性包括矿床地质特征（如矿体形态和产状、矿物成分和矿石组构、分带性及地球化学特征等）以及成矿地质背景（如矿床的形成与区域构造演化的时空关系、成矿作用与深部地质过程的关系等）。在应用描述性成矿模型时还应注意到，描述性模型反映的是一组矿床的共性，而矿床还具有其地域性的特点，因此，在成矿规律和成矿预测过程中，既要理解矿床类型的共性，也要认识到研究区矿床的特性，这样，才能在普遍性模型的指导下，既能发现同类新矿床，又不会漏掉新类型的矿床[52-54]。

w·林格伦根据容矿岩石、矿物成分和元素组合等特征把该类型矿床的特点总结于表 5-1。

表 5-1　浅成低温热液型金矿矿床的一般特征特征

Tab 5-1　Epithermal gold deposit general features

形成深度	地表至地下 1000m
形成温度	50---380℃
矿体的形态	细脉到大脉；网脉；侵染型矿体；交代型矿体
矿石结构	开放孔隙充填结构；壳状结构；胶状结构；梳状结构；角砾
成矿元素	金、银、铜、铅、汞、锌等
蚀变	硅化、粘土化、绢云母化、冰长石化

H·施米特（1950）、E·韦瑟（1966）、R．H 西利托（1997）、I．J 布坎南(1981)、R．B 伯杰(1983)、M．L 西尔伯曼(1982)、V．F．Hollister(1985)、P·希尔德(1987)对浅成低温热液贵金属矿床总结出更为详细的特征。由此，可以总结出浅成低温热液型金矿床描述性模型。

（1）矿床是在近地表处形成的。矿化发生在地表至地下 1000m 的空间上，矿体可沿走向延伸很长，但垂向范围只有 100～1000m。矿体的平均范围为 350m，很少超过 600m。矿体底板或为无矿岩石，或向下变为含贱金属硫化物的次生经济矿带。

（2）矿石一般产在矿脉中。矿脉通常分叉或向上敞开，变成复杂的似楔状或似锥状。矿石有时也产在角砾岩带、网脉带和细粒层理交代带中，其中较大矿带的矿石储量有几千万吨。

（3）矿床是在张性构造环境下、具有发育良好的张性断裂系统和正断层的地区形成的，断裂系统通常与大规模的火山塌陷构造伴生。

（4）矿化通常在产有分异良好的近地表火山岩和次火山岩分布区内发生的。其围岩可能是火山岩，也可能是沉积岩。在热液排泄中心未被剥蚀很深的地区，热泉沉积和火山喷气现象常常较为明显。

（5）有用金属矿物和伴生矿物主要以充填方式沉淀。矿石结构为壳层状或条带状、晶洞、晶簇状、胶体状和梳状、鸡冠状。矿石矿物通常为细粒，但脉石矿物是粗粒的、结晶良好的和次生加大的。某些交代结构明显可见，如方解石假象的石英晶体。

（6）金和银是主要的具经济意义的金属，与大量的汞、砷、锑和少量的铊、硒、碲伴生。金银比值变化很大，银通常比金高。主要矿石矿物为自然金、自然银、银金矿、螺状硫银矿(辉银矿)和含银的砷一锑硫盐矿物，碲化物仅在局部出现。

（7）脉石矿物以石英、方解石为主。次为黄铁矿、萤石、重晶石、白铁矿、赤铁矿、绿泥石、白云石、菱锰矿。氧化硅有很多变种，最常见的有石英或紫晶、蛋白石、玉髓状石英。

（8）热液蚀变强烈而明显。金、银矿化与硅化伴生，硅化带两侧为伊利石一绢云母和粘土蚀变带，所有这些蚀变都产在范围更大的青磐岩化带内，在深部矿脉中含冰长石，而在地表附近则以较宽的泥质蚀变为主，有些蚀变带含明矾石[55-58]。

仿照上述结论，总结出砬子河区金矿床描述型模型：

（1）矿床在近地表处形成的。矿化发生在地表至地下 350m 的空间上，矿体地板向下变为黄铁矿和黄铜矿的贱金属硫化物的次生经济矿带。

（2）矿石产生在矿脉中，矿脉通常分叉或向上敞开，变成复杂的似楔状或似锥状。

（3）矿床是在张性构造环境下、具有发育良好的张性断裂系统和正断层的地区形成的，断裂系统通常与大规模的火山塌陷构造伴生。

（4）矿化产生在热液排泄中心未被剥蚀的地区，热泉沉积和火山喷气现象较为明显。

（5）金和银石主要的具有经济意义的金属，金银比值变化很大，银通常比金高。

（6）脉石矿物以石英、方解石为主。次为黄铁矿、绿泥石、萤石等。

（7）热液蚀变强烈而明显。金、银矿化与硅化伴生，硅化带两侧为绢云母和粘土蚀变带，所有这些蚀变都产在范围更大的青磐岩化带内，在深部矿脉中含冰长石，而在地表附近则以较宽的泥质蚀变为主，有些蚀变带含明矾石。

5.3 金矿床空间几何模型

碛子河区共发现 1 条（2-2）矿体；3 条矿化体（2-1、2-3、2-4）。主要研究 2-1 号矿化体、2-2 号矿体和 2-4 矿化体。

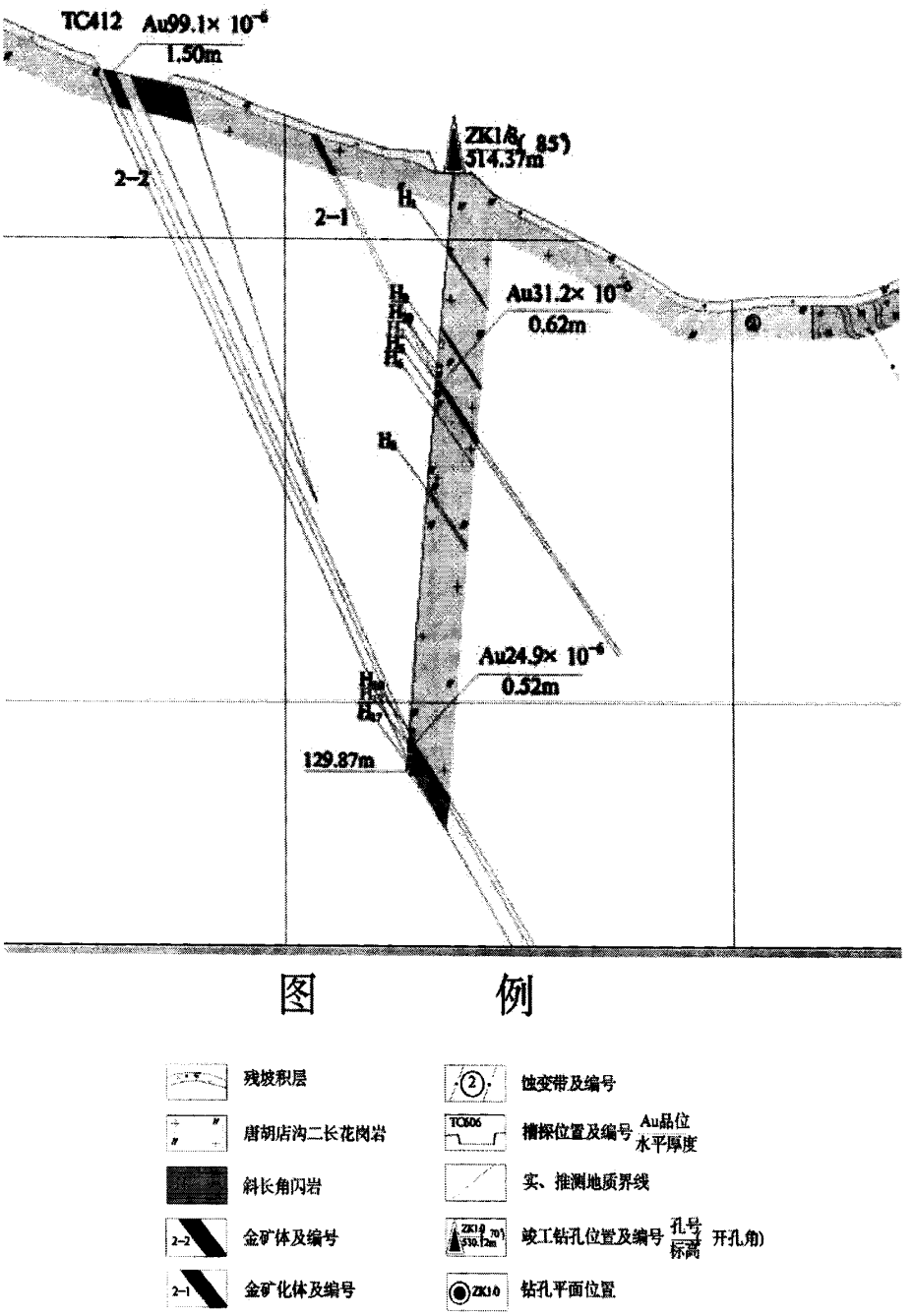


图 5-1　8 线剖面图

Fig 5-1　8# line profile

2-1 号矿化体：27 线～8 线由 TC401、TC605、ZK2/0、ZK1/8（如图 5-1

和表 5-2)，4 个工程控制，推断长约 670m,矿化体在地表品位、厚度变化较大，呈脉状，倾向南，倾 65°～73°幅宽 0.22m～1.00m，金品位 5.6×10^{-6}～40.8×10^{-6}，矿化体由蚀变岩、石英网脉蚀变岩、蚀变二长花岗岩组成，岩石节理、劈理发育。矿体见黄铁矿，细～粗粒状，半～自形晶；方铅矿化，方铅矿呈他形斑点状。见少量孔雀石。

表 5-2　8 线样品分析结果表

Tab 5-2　8# line samples analysis results table

孔号	统一编号	样号	样品位置(m) 自	样品位置(m) 至	样长 (m)	采取率 (%)	分析结果 (10^{-6}) Ag	分析结果 (10^{-6}) Au
Zk1/8	80001	H_1	16.51	16.96	0.45	100	0.12	1.00
	80002	H_2	43.91	45.05	1.14	100	0.25	31.2
	80003	H_3	45.05	46.05	1.00	100	0.24	1.00
	80004	H_4	46.05	46.76	0.71	100	0.16	1.00
	80005	H_5	46.76	48.16	1.40	100	0.19	1.90
	80006	H_6	50.86	51.36	0.50	100	0.21	1.00
	80007	H_7	63.71	64.76	1.05	100	0.13	7.80
	80008	H_8	68.46	69.26	0.80	100	0.10	1.00
	80009	H_9	36.41	38.01	1.60	100	0.10	1.00
	80010	H_{10}	120.46	121.46	1.00	100	0.16	1.00
	80011	H_{11}	121.46	122.46	1.00	100	0.17	1.00
	80012	H_{12}	122.46	123.56	1.00	100	0.15	1.00
	80013	H_{13}	123.56	124.56	1.00	100	0.26	24.9
	80014	H_{14}	124.56	126.46	1.10	100	0.21	1.00
	80015	H_{15}	125.66	127.46	0.80	100	0.20	1.00
	80016	H_{16}	126.46	128.46	1.00	100	0.17	1.00
	80017	H_{17}	127.46	129.46	1.00	100	0.10	1.00
	80018	H_{18}	128.46	128.96	0.50	100	0.10	1.00
	80019	H_{19}	128.96	129.46	0.50	100	0.14	1.00
	80020	H_{20}	41.21	41.91	0.70	100	0.10	1.00
	80021	H_{21}	41.91	42.91	1.00	100	0.17	1.00
	80022	H_{22}	42.91	43.91	1.00	100	0.18	1.00

2-2 号矿体（如图 5-2)：27 线～8 线，地表控制长约 800m，其中西段控制间距 40～170m，由七个工程控制，(TC606、TC601-2、TC722、TC721、TC720、TC719、TC604)，控制矿（化）体长 480m，呈脉状、倾向南，倾角 73°～75°,幅宽 0.60m～1.40m，平均幅宽 1.07m，平均金品位 45.40×10^{-6}；深部在 7（如图 5-3)、15（如图 5-4)、23 线（如图 5-5）有 3 个钻孔（ZK1/7、ZK1/15、ZK1/23）在 400m 标高左右，控制矿体长 320m,斜深 160～170m，

水平厚度 0.12～0.35m，金品位 77.1×10^{-6}～294.0×10^{-6}，金品位 0.14×10^{-6}～0.25×10^{-6}，平均水平厚度 0.26m,金平均品位 175.18×10^{-6}（如表 5-3、5-4、5-5）。ZK1/7、ZK1/15 钻孔所见矿体，由矿化蚀变斜长角闪岩组成，金属矿物有它形方铅矿、细粒它形黄铁矿、黄铜矿，多呈斑点状、少量呈细脉状；蚀变主要有绿帘石化、碳酸盐化、退色化等。

表 5-3　7 线样品分析结果表

Tab 5-3　7# samples analysis results table

孔号	统一编号	样号	样品位置 自	样品位置 至	样长（m）	采取率 (%)	分析结果（10^{-6}） Ag	分析结果（10^{-6}） Au
Zk1/7	80050	H_1	2.10	3.60	1.50	100	0.10	1.00
	80051	H_2	19.40	19.70	0.30	100	0.18	1.00
	80052	H_3	24.40	24.80	0.40	100	0.13	1.00
	80053	H_4	38.10	38.90	0.80	100	0.10	1.00
	80054	H_5	52.70	53.40	0.70	100	0.10	1.00
	80055	H_6	88.40	89.90	1.50	100	0.10	1.00
	80056	H_7	91.40	92.40	1.00	100	0.12	1.00
	80057	H_8	92.40	93.40	1.00	100	0.32	1.00
	80058	H_9	93.40	94.70	1.00	100	0.20	1.00
	80059	H_{10}	94.93	95.43	0.50	100	0.22	1.00
	80060	H_{11}	127.00	128.00	1.00	100	0.36	1.00
	80061	H_{12}	128.00	128.90	1.00	100	0.19	1.00
	80062	H_{13}	152.50	153.50	1.00	100	0.16	1.00
	80063	H_{14}	153.50	154.30	0.80	100	0.19	82.0
	80064	H_{15}	154.30	155.60	1.30	100	0.17	1.00
	80065	H_{16}	155.60	156.40	0.80	100	0.29	1.00
	80066	H_{17}	157.70	158.60	0.90	100	0.25	1.00
	80067	H_{18}	158.60	159.60	1.00	100	0.32	1.00

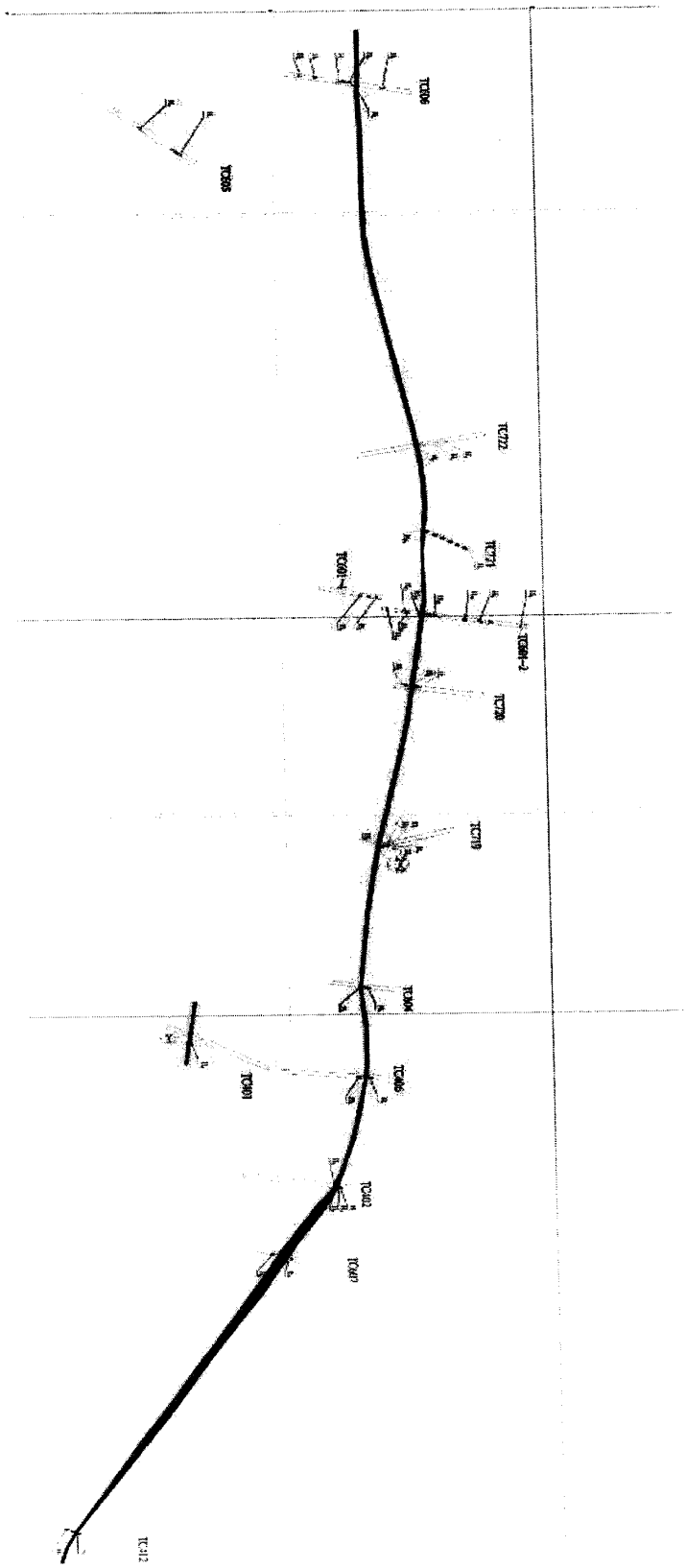


图 5-2　2-2 号矿体平面图

Fig 5-2　2-2# orebody planar graph

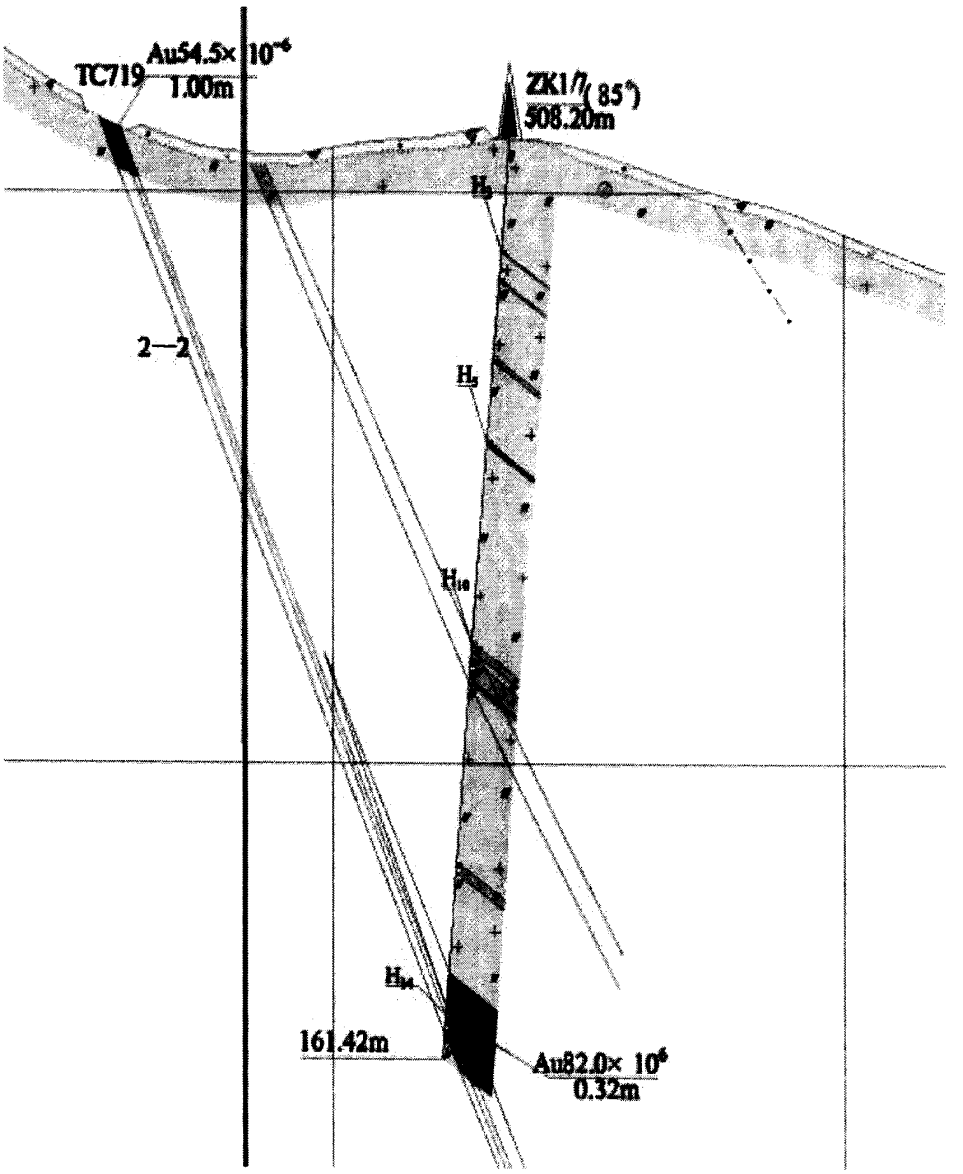


图　　例

残坡积层
蚀变带及编号
唐胡店沟二长花岗岩
TC606
槽探位置及编号
Au品位
水平厚度
斜长角闪岩
实、推测地质界线
金矿体及编号
竣工钻孔位置及编号
孔号
标高
开孔角)
金矿化体及编号
ZK1-0
钻孔平面位置

图 5-3　7 线剖面图

Fig 5-3　7# line profile

表 5-4　15 线样品分析结果表

Tab 5-4　15# samples analysis results table

孔号	统一编号	样号	样品位置(m) 自	样品位置(m) 至	样长（m）	采取率（%）	分析结果（10^{-6}） Ag	分析结果（10^{-6}） Au
	80068	H_1	13.70	15.20	1.50	100	0.18	1.60
	80069	H_2	19.15	19.85	0.70	100	0.10	1.00
	80070	H_3	30.30	30.90	0.60	100	0.10	1.00
	80071	H_4	33.90	34.70	0.80	100	0.14	1.80
	80072	H_5	39.70	40.20	0.50	100	0.10	1.60
	80073	H_6	49.50	50.90	1.40	100	0.13	1.00
	80074	H_7	93.10	93.30	0.20	100	0.23	5.30
	80075	H_8	96.10	97.00	0.90	100	0.24	1.00
Zk1/15	80076	H_9	97.00	97.50	0.50	100	0.22	1.00
	80077	H_{10}	121.81	122.11	0.30	100	0.13	2.40
	80078	H_{11}	153.11	154.21	1.10	100	0.21	1.00
	80079	H_{12}	154.21	154.71	0.50	100	0.14	1.00
	80080	H_{13}	154.71	155.81	1.10	100	0.10	1.00
	80081	H_{14}	155.81	156.81	1.00	100	0.24	1.00
	80082	H_{15}	156.81	157.61	0.80	100	0.25	294
	80083	H_{16}	157.61	158.01	0.40	100	0.16	6.50
	80095	H_{17}	158.01	158.61	0.60	100	0.26	3.40

表 5-5　23 线样品分析结果表

Tab 5-5　23# samples analysis results table

孔号	统一编号	样号	样品位置(m) 自	样品位置(m) 至	样长（m）	采取率（%）	分析结果（10^{-6}） Ag	分析结果（10^{-6}） Au
	80084	H_1	29.60	30.60	1.00	100	0.11	1.00
	80085	H_2	30.60	31.60	1.00	100	0.14	1.00
	80086	H_3	36.20	37.60	1.40	100	0.15	1.00
	80087	H_4	37.60	38.40	0.80	100	0.23	1.00
	80088	H_5	38.40	39.00	0.60	100	0.21	1.00
	80089	H_6	50.50	51.40	0.90	100	0.18	1.00
Zk1/23	80090	H_7	81.90	82.90	1.00	100	0.27	1.00
	80091	H_8	82.90	83.90	1.00	100	0.19	1.00
	80092	H_9	85.90	86.90	1.00	100	0.21	1.00
	80093	H_{10}	101.42	102.42	1.00	100	0.14	1.00
	80094	H_{11}	139.62	139.92	0.30	100	0.14	77.1
	80096	H_{13}	139.32	139.62	0.30	100	0.20	9.20
	80097	H_{12}	139.92	140.42	0.50	100	0.22	32.4

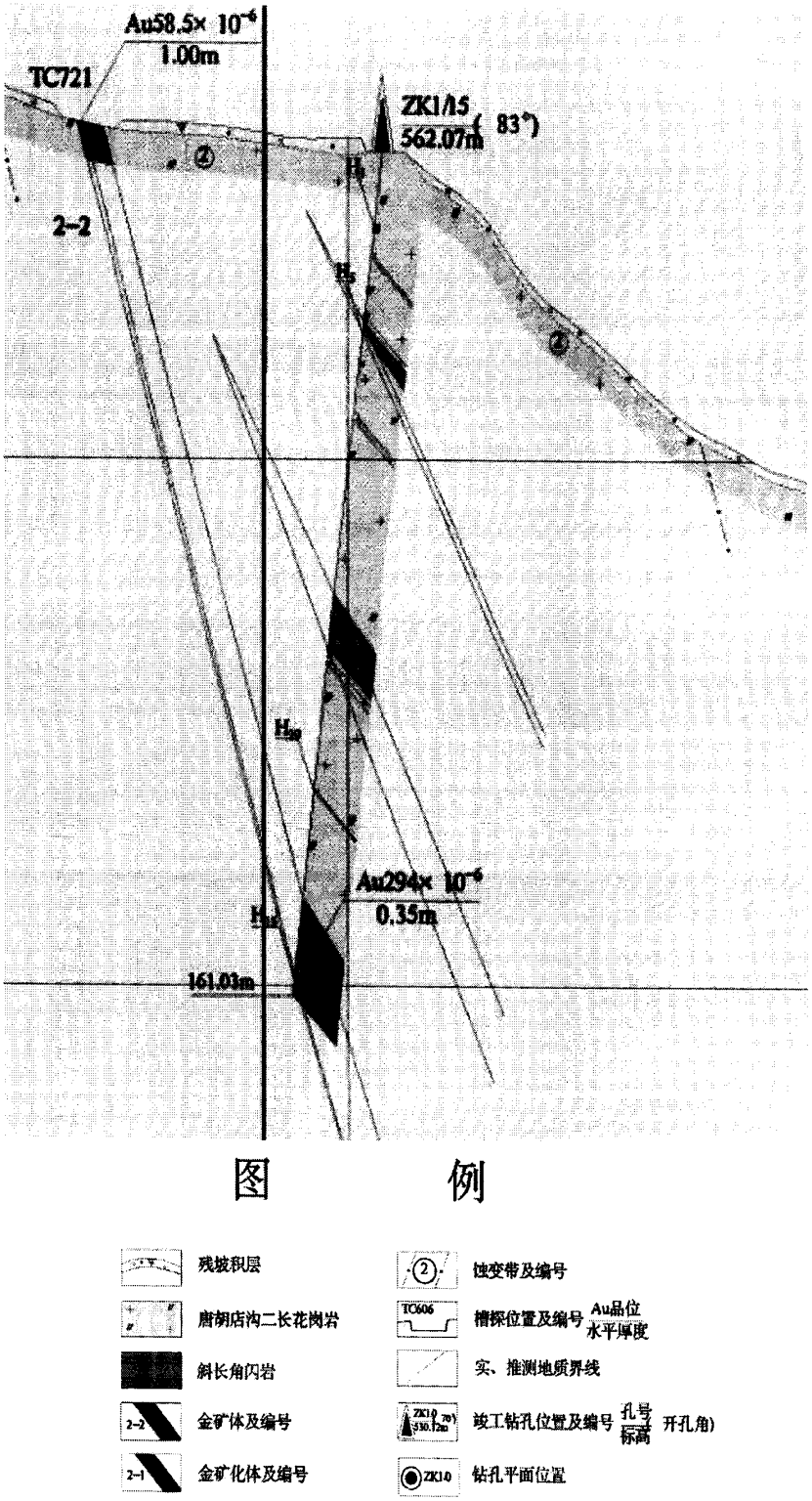


图 5-4　8 线剖面图

Fig 5-4　8# line profile

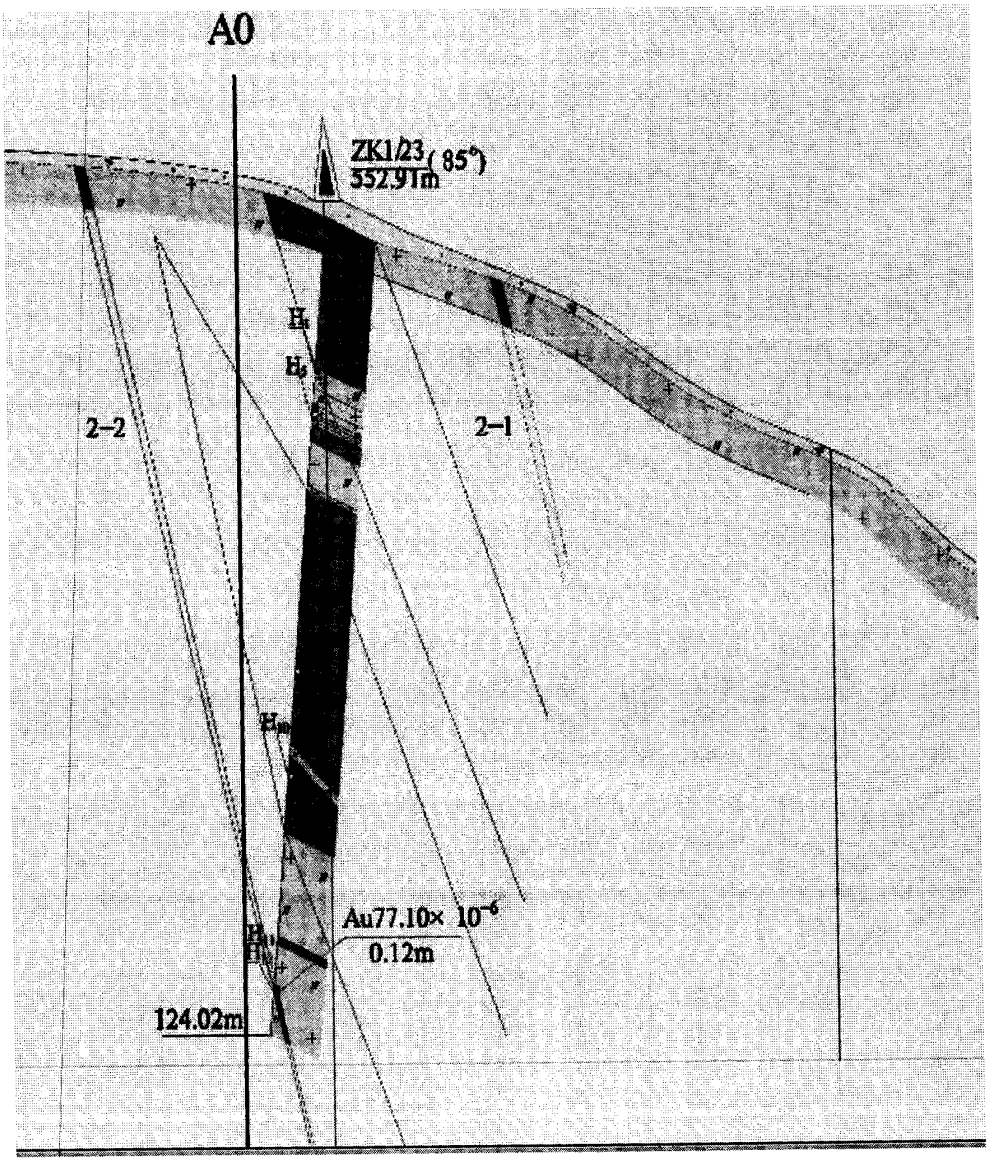


图　　例

残坡积层
磨胡店沟二长花岗岩
斜长角闪岩
金矿体及编号
金矿化体及编号
蚀变带及编号
TC606 槽探位置及编号 Au品位 水平厚度
实、推测地质界线
竣工钻孔位置及编号 孔号 标高 开孔角)
ZK1.0 钻孔平面位置

图 5-5　23 线剖面

Fig 5-5　23# line profile

2-4 号矿化体：有一个钻孔 zk2/0（如表 5-6 和图 5-6），矿化体区域比较小，埋藏较浅，呈脉状，倾向南，倾 65°～73°幅宽 0.22m～0.50m，金品位 5.8×10^{-6}～48.5×10^{-6}，矿化体由蚀变岩、石英网脉蚀变岩、蚀变二长花岗岩组成。

表 5-6 0 线样品分析结果表

Tab 5-6 0# samples analysis results table

孔号	统一编号	样号	样品位置(m) 自	样品位置(m) 至	样长 (m)	采取率 (%)	分析结果 10^{-6} Ag	分析结果 10^{-6} Au
	80023	H_1	10.86	11.56	0.70	100	0.35	48.5
	80024	H_2	31.96	32.96	1.00	100	0.33	1.00
	80025	H_3	32.96	33.86	0.90	100	0.32	1.00
	80026	H_4	33.86	35.26	1.40	100	0.32	1.00
	80027	H_5	35.26	36.26	1.00	100	0.31	1.00
	80028	H_6	43.21	43.51	0.30	100	0.28	5.80
ZK1/0	80029	H_7	44.01	45.01	1.00	100	0.35	3.20
	80030	H_8	45.01	46.11	1.10	100	0.32	3.60
	80031	H_9	123.97	124.97	1.00	100	0.34	1.00
	80032	H_{10}	124.97	125.97	1.00	100	0.40	1.00
	80033	H_{11}	135.87	137.07	1.20	100	0.40	1.00
	80034	H_{12}	159.37	160.77	1.40	100	0.13	1.00
	80035	H_{13}	160.77	161.17	0.40	100	0.21	1.00
	80035-1	H_1	5.65	6.65	1.00	100	0.10	1.00
	80036	H_2	6.65	8.00	1.35	100	0.10	1.00
	80037	H_3	8.00	9.00	1.00	100	0.11	1.00
	80038	H_4	9.00	10.00	1.00	100	0.20	1.00
	80039	H_5	4.65	5.65	1.00	100	0.12	1.00
	80040	H_6	3.65	4.65	1.00	100	0.10	5.60
	80041	H_7	28.20	29.00	0.80	100	0.10	1.00
ZK2/0	80042	H_8	48.00	49.50	1.50	100	0.34	1.40
	80043	H_9	74.10	74.70	0.60	100	0.11	1.00
	80044	H_{10}	94.40	95.70	1.30	100	0.15	1.00
	80045	H_{11}	105.81	106.61	0.80	100	0.10	1.00
	80046	H_{12}	113.41	114.81	1.40	100	0.10	1.00
	80047	H_{13}	114.81	115.61	0.80	100	0.22	1.00
	80048	H_{14}	115.61	116.61	1.00	100	0.16	1.00
	80049	H_{15}	95.70	96.50	0.80	100	0.19	1.00

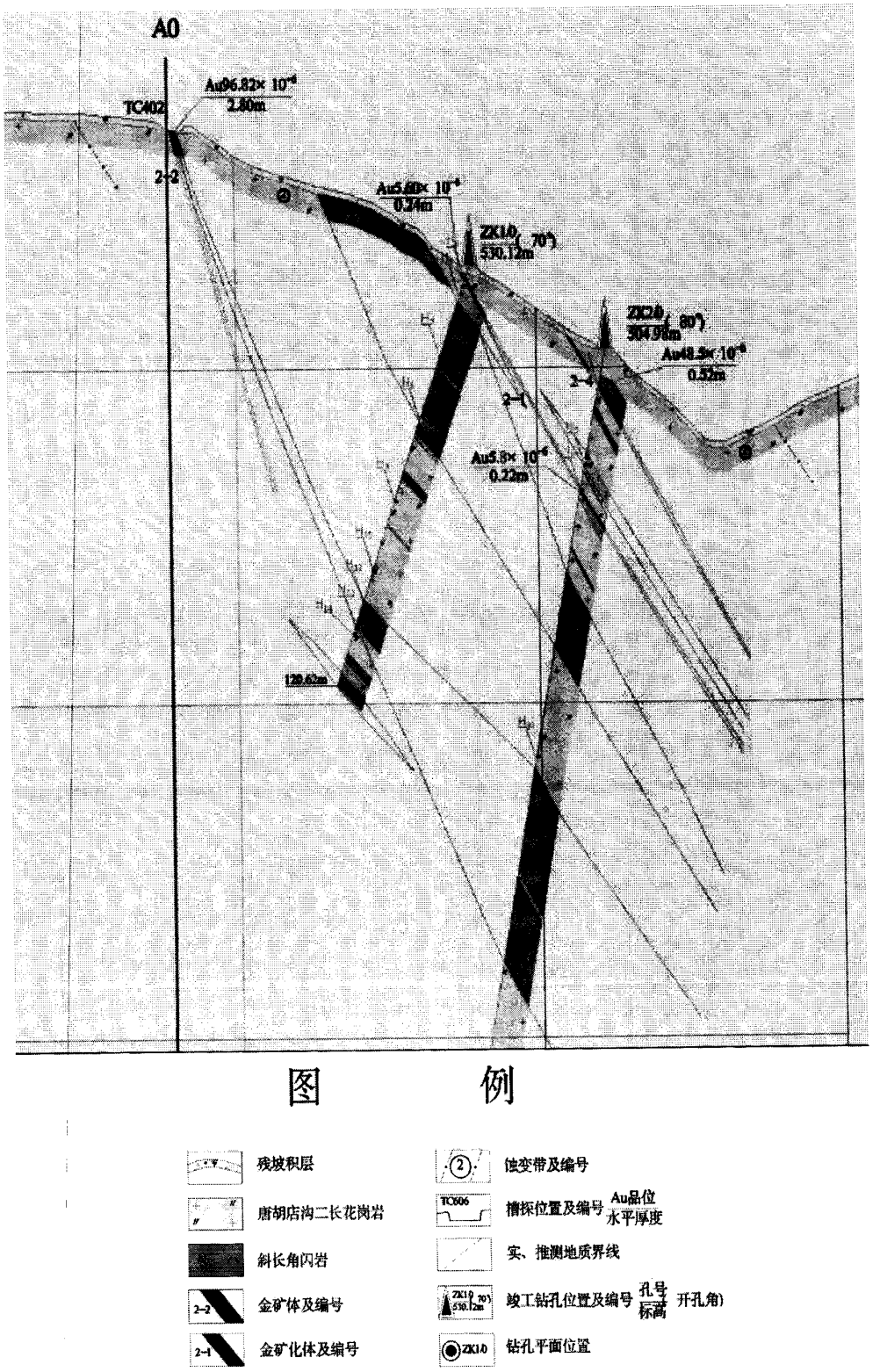


图 5-6　0 线剖面图

Fig 5-6　0# line profile

5.4 研究区金矿床类型划分

通过现场踏勘，基本判定研究区内的金矿床为浅成低温热液型金矿床。

当代世界金矿开发和勘查的一个明显进展就是对浅成低温热液型金矿勘查取得了巨大成就。20 世纪 80 年代发现的 10 个超大型金矿中，一半是浅成低温热液型金矿床，并在 20 世纪 90 年代还有发现，如日本的菱刈金矿、巴布亚新几内亚的波尔盖特金矿、利希尔岛金矿、智利北部的拉科伊帕金矿、中国的紫金山金矿、团结沟金矿等。同时，由于金银价格稳中有升及冶炼技术的提高，使得一些低品位矿石能够利用。再加上金得分析技术达到了 10^{-9} 级。从而使浅成低温热液金矿成为金矿地质学研究的热点，是当代重要的金矿类型之一，并在成矿理论研究方面发展最快，成果也最多。

5.4.1 浅成低温热液型金矿床的概念

浅成低温热液型金矿床（Epithermal）一词原意（Schmitt）是指发生在浅处并常在火山岩中定位的矿化，常出现一些不协调的矿物组合，即同一矿床中低温矿物组合和高温矿物组合同时出现。但其概念随时代的发展而发生了很大的变化。

目前浅成低温热液型金矿床的概念是指产于火山岩、次火山岩中或碳酸盐岩、粉屑岩中，形成温度低于 300℃，压力为 $n\times10^{7}$Pa，成矿流体为大气降水与岩浆热液混合形成的溶液，且多数情况下以大气降水为主的一类矿床。

5.4.2 浅成低温热液型金矿床的分类

该类型金矿床分类较多，每一分类方案都不尽相同，各有优缺点。Buchnan，Giles，Nelson，White N．C，P．Heald，H．F．Bonham Jr，鹿园直建等学者在这方面做了许多工作，他们主要根据矿物及蚀变特征进行分类。H．F．Bonham Jr 等人将浅成低温热液型金矿床分成三类（表 5-7）。

砬子河区金矿床含有银金矿，也包含黄铁矿等贱金属硫化物，在断裂中蚀变，蚀变带中含有石英、萤石、方解石等，蚀变边缘含有绿泥石。绢云母等，对照上表砬子河区金矿床为碱质型金矿床

表 5-7 H_F. Bonham Jr 浅成低温热液型金矿床分类

Tab 5-7 H_F. Bonham Jr Epithermal gold deposit classification

类型	矿石矿物	蚀变特征
低硫型	自然砷、锑及汞硫化物，银金矿，银硫化物及硫盐，银硒化物，贱金属硫化物	紧靠脉或断裂中的矿物：石英、冰长石、方解石、白云石、及或锰碳酸盐及硅酸盐，少量萤石及重晶石 脉或断裂边缘的蚀变：高岭石、伊利石或绢云母和/或绿泥石、蒙脱石、钠长石、方解石、沸石，并常见大面积的青磐岩化
高硫型	汞及锑的砷黝铜矿一黝铜矿族矿物，硫砷铜矿一四方硫砷铜矿族矿物，铜蓝，自然金，银硫化物及硫盐，辉铋矿及贱金属硫化物，碲化物	脉、岩筒中及紧靠它的前缘泥化组合：石英——明矾石——高岭石，石英——明矾石——自然硫——重晶石，石英——叶蜡石——硬水铝石，石英——明矾石——绢云母 邻近前缘泥化的中间泥化：高岭石、绢云母、蒙脱石、区域青磐岩化
碱质型	金一银碲化物，银金矿，含金黄铁矿，砷、汞及锑硫化物，贱金属硫化物(包括辉钼矿)	脉、网脉、断裂中蚀变：石英、萤石、方解石或白云石、钒云母、长石 脉边缘蚀变：钠长石、绿泥石、碳酸盐、绢云母、蒙脱石、沸石、伊利石

该类型金矿床分类较多，每一分类方案都不尽相同，各有优缺点。Buchnan，Giles，Nelson，White N. C，P. Heald，H. F. Bonham Jr，鹿园直建等学者在这方面做了许多工作，他们主要根据矿物及蚀变特征进行分类。H. F. Bonham Jr 等人将浅成低温热液型金矿床分成三类（表 5-7）。

砬子河区金矿床含有银金矿，也包含黄铁矿等贱金属硫化物，在断裂中蚀变，蚀变带中含有石英、萤石、方解石等，蚀变边缘含有绿泥石。绢云母等，对照上表砬子河区金矿床为碱质型金矿床。

P. Heald 等学者按照成矿地球化学环境和矿床地质特征将浅成低温热液型金矿床分成三类(表 5-8)。

表 5-8 P. Heald 等浅成低温热液型金矿床分类

Tab 5-8 P.Heald epithermal gold deposit classification

类型	明矾石-高岭石型(或酸性-硫酸盐型)	冰长石-绢云母型	微细浸染型(卡林型)
特征	出现硫砷铜矿，有时见铜蓝、蓝辉铜矿	缺失硫砷铜矿	缺硫砷铜矿
	原生明矾石化、高岭石化发育，缺失冰长石	绢云母化十分发育，常伴有冰长石	方解石十分发育，有明矾石
	缺失硒化物，锰矿物、绿泥石少见，有时见辉铋矿	常有硒化物、锰矿物、绿泥石，缺失辉铋矿	缺少硒化物，锰矿物、绿泥石少见，缺少辉铋矿
	成岩与成矿时间接近	成矿时间晚于成岩时间	成矿时间远晚于成岩时间
	形成于氧化环境中	形成于中-弱还原环境中	形成于还原环境中

对照上表，按照成矿地球化学环境和矿床地质特征，砬子河区金矿床为细微侵染型（卡林型）金矿床。

综上所述，判断砬子河区内的金矿床为碱质型微细侵染型金矿床。

5.5 本章小结

模型是通过抽象、简化、类比，使所研究系统的结构、形态或运动状态变为易观测的形式。通过整理分析，对研究区内的金矿床建立了描述性成矿模型和空间几何模型。

浅成低温热液型金矿床（Epithermal）一词原意（Schmitt）是指发生在浅处并常在火山岩中定位的矿化，常出现一些不协调的矿物组合，即同一矿床中低温矿物组合和高温矿物组合同时出现。按照 P. Heald 等学者按照成矿地球化学环境和矿床地质特征将浅成低温热液型金矿床分成三类，判断砬子河区内的金矿床为碱质型微细侵染型金矿床。

结 论

6.1 结论

本文结合吉林省抚松县砬子河区地质资料，通过整理分析，得到该区域内金矿床的成矿控制因素、成矿作用和金矿床模型，取得的结论有以下几点：

（1）金矿床类型：利用 H. F. Bonham Jr 和 P. Heald 等学者按照成矿地球化学环境和矿床地质特征对浅成低温热液型金矿床的分类，认为砬子河区内的金矿床为碱质型微细侵染型金矿床。

（2）热液迁移的主要动力：热液本身特有的高温过压性质和频繁不断发生的构造活动是砬子河区热液迁移循环的主要动力。

（3）成矿温压条件：砬子河区金矿床成矿温度在 150～300℃之间。砬子河区内金矿成矿压力可能为 0.618～1.878GPa。

（4）矿床成因：砬子河金矿床在成因上属于一种复成岩浆热液金矿床，受花岗岩、地层及断裂构造三者的联合控制。

（5）矿化富集规律：在含金石英脉体膨胀、变窄、尖灭端和厚度稳定部位，金矿化富集；含金石英脉中有条带状含碳围岩夹石部位，碳质和绿泥石成分增加处，金矿化富集；含金石英脉中金属硫化物富集且呈细粒结构或结晶程度差的部位，金矿化富集；含金石英脉纵裂隙发育部位，脉体两侧，尤其是底盘，金矿化富集；含金矿石中以条带状和细脉状构造矿石金矿化较好；从构造控矿角度看，构造带转折端、裂隙交叉处和石英脉倾角变陡部位，金矿化富集。

（6）金矿床模型：对研究区域内的金矿床建立了描述性模型，对 2-2 号矿体建立了空间几何模型。

6.2 不足与展望

（1）由于地质条件比较复杂，本文在进行矿床控制因素、成矿作用和矿床模型的研究中进行了一定的假设与简化。因此，在对该区内金矿床的研究中，还需要可考虑更多的影响因素，广泛的尝试运用更新的理论研究方法进行更深的探讨。

（2）随着技术与理论的飞速发展和成熟，今后应该致力于更新技术和新理论的应用，为金矿床的研究和开发利用提供一定的建议。

致 谢

研究生的学习很快就要结束了，这也是我在河北工程大学七年学习生活的尾声了。首先，我要衷心的感谢我的导师——李树文教授，本论文是在李树文教授的悉心帮助下完成的。从论文的选题、实验方案的设计、结果分析到论文的撰写，无不倾注了李老师的大量心血和辛勤汗水。李老师深厚的理论基础、丰富的实践经验、严谨求实的治学态度，让我受益非浅。此外，在生活上李老师也给予我很大的关怀。

其次，感谢这篇论文所涉及到的各位学者。本文引用了数位学者的研究文献，如果没有各位学者的研究成果的帮助和启发，我将很难完成本篇论文的写作。

最后，感谢我的同学和朋友，在我写论文的过程中给予我了很多你问素材，还在论文的撰写和排版的过程中提供热情的帮助。也要感谢我的家人在我学习期间给我的许多帮助。

由于我的学术水平有限，所写论文难免有不足之处，恳请各位老师和学友批评和指正！

参考文献

[1] 李广辉. 黄金生产商进行黄金套期保值[D]. 北京：对外经济贸易大学，2005

[2] 庞奖励. 浅成低温热液金矿研究现状及其趋势[J]. 黄金地质，1995(4)：9~19

[3] 刘伟. 广东河台金矿矿床成因及成矿规律研究[D]. 湖南：中南大学，2004

[4] 臧兴运. 吉林省桦甸市板庙子金矿及外围控矿地质条件与靶区预测[D]. 吉林：吉林大学，2007

[5] 孟继伟，齐丽娟，陈涛，宋诗信. 夹皮沟金矿区控矿因素及找矿方向[J]. 吉林地质，2004(2)：78~81

[6] A.M.Портнов，刘丽玲. 近地表金银矿床成矿物质迁移和沉淀因素—$P(CO_2)$[J]. 地质地球化学，1988(3)：32~33

[7] 陈兵. 陕西省青山金矿床地质地球化学特征初步研究[D]. 四川：成都理工大学，2009

[8] 王文斌，季绍新，邢文臣，巫怀仁，周汉民，薛运义. 江西九瑞地区含铜黄铁矿型矿床的地质特征及成因[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊，1986(8)：15~17

[9] 毛德宝，王克卓，钟长汀，倪康，王杰，杨风，胡小蝶. 阿尔金成矿带主要成矿系列及其地质特征[J]. 地质与勘探，2003(6)：19~22

[10] Bonham.H.F. Three major types of epithermal precious—metal deposits[J]. Ge01. Soc. Am. Abstr. Programs，2011(1)416~449

[11] Bonham H F. Model for volcanic—hosted epithermal precious metal deposits；a review. Proceedings of Symposium 5，Volcanism，Hydrothermal Systems and Related Mineralization [J]. Intemat. Volcan01. Congress，Univ. Auckland，New Zealand，2009(8)：13~17

[12] Bonham. H. F & Giles. D, L. Epithermal gold/siluer deposits the geothermal connection [J]. Geothermal Resources Council，Special Repot, 2010(13)：257~262

[13] Giles D L. Gold mineralization in the laccolithic complexes of central Montana. Symposium Proceedings，The Genesis of Rocky Mountain Ore Deposits：Changes with Time and Tectonics. Denver Region Exploration Geologists Soc[J]. Denver，Colorado，1982：157~162

[14] Mutschler F E.，Gri n M E.，Stevens D S. &Shannon S S. Precious metal deposits related to alkaline rocks in the North American Cordillera. Ge01. Soc. Am. Abstr. Programs, 2009 (16)：606

[15] Mutschler F E, Griffin M E，Stevens D S&Shannon S S. Precious metal deposits related to alkaline rocks in the North American Cordillera--an interpretive review[J]. Trans. Ge01.Soc. S. Africa，2012(88)：355～377

[16] Cox D P& Bagby w C. Descriptive model of Au-Ag-Te veins Mineral Deposit Models (D. P. Cox & D. A. Singer, eds.)[J]. U. S. geol. Sury. Bull，2009(1693)：124

[17] Nie Feng_-Jun and Wu Cheng—Yu. Gold deposits related to alkaline igneous rocks in north china craton[J]. People'S republic of China，Global Tectonics and Metallogeny，1998(2)：7

[18] 杨元昭. 据深源磁异常的发现论栖霞山多金属矿矿床的成因[J]. 地质与勘探，1986(1)：1~5

[19] 肖光富. 鸡冠嘴铜金矿床Ⅰ号矿体群矿体地质特征及赋存规律[J]. 黄金，2003(2)：50~55

[20] 罗新民，田松鹤，刘忠荣. 难选氧化铜矿浮选工艺研究[J]. 湖南有色金属，2003(8)：12~13

[21] 孙以瑞. 湖南贫锰矿的选矿现状及展望[J]. 中国锰业，1987(4)：20~21

[22] 武警黄金指挥部. 内蒙古自治区哈达门沟伟晶岩型金矿地质[M]. 北京：地震出版社，1995

[23] 武警黄金指挥部. 河北省东坪碱性岩型金矿地质[M]. 北京：地震出版社，1996

[24] 聂凤军等. 碱性火成岩为主岩金矿床研究进展[J]. 国外矿床地质，2010(3)：18~22

[25] Mutschler，F. E. 与碱性火成岩有关的贵金属矿床—在科地勒拉的空间—时间历程[J]. 地质科技动态，1991(9)：21~22

[26] 孙培基. 前程无量的低温浅成热液金矿床[J]. 国外火山岩区金矿床，1991(3)：15~19

[27] Head P，et al，Comparative anatomy of volcanic—hosted epithermal deposit：acid—sulfated and adularia—sercite types[J]. Econ Ge01，1987 (1)：1～26

[28] Jeffrey W.Hetal，Geology，geochemistry and origin of high sultqdation Cu—Au mineralization in the Nansatsu district[J]. Japan. Econ. Ge01，2011 (1)：1~30

[29] R H. 西里托等. 1984 火山地貌与矿床[M]. 国外地质科技，1990

[30] L J. 布坎南. 北美西南部与火山环境有关的贵金属矿床[M]. 国外地质科技，2011

[31] R. B. Berger. Concepteal models of epithermal precious metal deposits[M] . Camero on volume on unconcentional minetal deposits，1983

[32] 郭光裕，侯宗林. 热泉型金矿床成矿模式济成矿远景评价[M]. 科学技术出版社，1993

[33] 卫万顺. 首届全国青年地质工作者学术讨论会论文集[C]. 中国地质学会，1987

[34] 地科院地质所. 中国基性超基性岩分布图(1：400 万)及其说明书[M]. 1975

[35] 卫万顺. 我国超基性岩型金矿找矿前景浅析[J]. 沈阳黄金学院学报，1989 (1)：15~19

[36] 陈国达. 成矿构造研究法[M]. 北京：地质出版社，1978

[37] 卫万顺. 中西秦岭地区古板块构造及其卡林型金矿[J]. 黄金地质，2009(3)：78~80

[38] 卫万顺. 金矿地质与勘探论文集(C). 北京：冶金工业出版社，1992，96~103

[39] 卫万顺，张敬陆. 华北地台金矿学术讨论会论文集(C). 沈阳：东北工学院出版社，1992，153~178

[40] 周树亮. 吉林金山金矿区成矿地质特征及找矿预测[J]. 黄金地质，2005，8(26)：8~11.

[41] 檀国平，卫万顺. 吉林辉南芹菜沟金矿地球化学特征及找矿预测[J]. 黄金地质科技，2011，(4)：49~56.

[42] 张洪信，张华，彭慈刚等. 黔东南锦屏平秋金矿找矿前景初步分析[J]. 贵州地质，2005，22(4)：242~245.

[43] 周国法，吕古贤，申玉科等. 山东大庄子金矿床地质特征及找矿预测[J]. 黄金科学技术，2008，16(6):6~10.

[44] 崔银亮. 云南省与富碱斑岩有关的金矿床围岩蚀变特征和找矿前景[J]. 矿产与地质，2003，17(97)：369~372.

[45] 赵有军，李彦强，路耀祖. 青海省兴海县满丈岗地区金的成矿条件及找矿前景[J]. 黄金科学技术，2008，16(5)：27~28.

[46] 贺钟雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津：天津科技出版社，1983

[47] 董文泉等. 数量化理论及其应用[M]. 吉林：吉林人民出版社，1979

[48] 李万亨、杨昌明. 地质技术经济学[M]. 北京：地质出版社，1987

[49] 金友涣、赵鹏大. 三维成矿地质环境模拟的准则与方法[M]. 北京：地质出版社，1995

[50] 刘承祚等. 复杂矿体的三维数学模拟及其地质意义[M]. 北京：地质出版社，1997

[51] 郭光裕等. 欧氏距离分析[M]. 北京：地质出版社，1994

[52] 郭光裕等. 脉状金矿床深部大比例尺统计预测的理论基础[M]. 北京：地质出版社，1995

[53] 刘承祚. 数学地质在 1994～1996 年期间的主要进展[M]. 北京：地质出版社，1993

[54] 李树文，姜鹏，钟国军. 吉林省石头沟区金矿找矿预测[J]. 吉林地质，2011，30（2）：31~33

[55] 卫万顺，张宇辉. 金矿床模型[M]. 北京：中国大地出版社，2008

[56] 范永香，阳正熙. 成矿规律与成矿预测[M]. 江苏：中国矿业大学出版社，2003

[57] 沈保丰，李俊健，毛德宝等. 吉林夹皮沟金矿地质与成矿预测[M]. 北京：地质出版社，2011

[58] 郭光裕，林卓虹. 脉状金矿床深部大比例尺统计预测理论与应用[M]. 北京：冶金工业出版社，2009

作者简介

姜鹏，男，汉族，出生于1985年3月2日，籍贯山东省枣庄市，2005年考入河北工程大学城市建设学院环境工程专业，2009年毕业并获得工学学士学位；2009年考入河北工程大学资源学院地质工程专业，攻读硕士学位，在校期间学习了地质工程、高等工程地质学、矿山地质灾害理论与技术、高等水文地质学等课程，共16门课程，共计31学分，其中包括学位课程学分数19分。

研究生期间发表论文

1.李树文，姜鹏，钟国军.吉林省石头沟区金矿找矿预测[J].吉林地质，2011，30(2)：31~33

吉林省抚松县砬子河区金矿床的成矿作用和矿床模型

作者：姜鹏
学位授予单位：河北工程大学

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y2132630.aspx