

成都理工大学

硕士学位论文

四川省红原县新康猫金矿床的微量元素地球化学特征

姓名：曾广亮

申请学位级别：硕士

专业：地球化学

指导教师：张成江

20090601

四川省红原县新康猫

金矿床的微量元素地球化学特征

作者简介： 曾广亮，男，1984 年 5 月生，师从成都理工大学张成江教授，2009 年 6 月毕业于成都理工大学地球化学专业，获得理学硕士学位。

摘 要

新康猫金矿床位于秦岭造山带西部的松潘～甘孜地槽褶皱系阿坝地块南部与北～东向龙门山推覆构造接壤地带的活动带内，是近年来新发现的微细浸染型金矿，所以该矿床具有卡林型金矿的共同而且典型的特征。本文主要从微量元素和稀土元素入手，分别讨论围岩、矿石、矿物中的元素特点，再进行纵向的综合对比，最后和地球各圈层进行横向对比，研究成矿物质来源，同时也可以加深对此类型矿床的了解。本次研究对样品进行显微镜下的人工挑选、研磨矿物,再进行中子活化分析来得到数据。

赋矿围岩组成为一套浅变质岩系。按粒度的不同可分为砾岩、砂岩，粉砂岩和泥质岩（板岩）。

含矿岩石为碎屑岩类和构造作用形成的糜棱岩、压碎岩类。

矿物组合：矿石矿物主要为黄铁矿、褐铁矿，次为黄铜矿、毒砂、闪锌矿、自然金等；脉石矿物主要为长石、石英及粘土质矿物，次为方解石、石墨等。矿区围岩蚀变发育，较普遍的是绢云母化、硅化、黄铁矿（褐铁矿）化、碳酸盐化，此外还有粘土化、辉锑矿化、黄铜矿化、石墨化等。蚀变的强弱与金矿化密切相关。

研究所得成果如下：

1) 微量元素方面：围岩中的 Au 分析，发现整个矿区范围内地层中的成矿元素达到了浓集，而赋矿的围岩中的成矿元素又相对背景出现了一定得富集。矿石中的 Au 与 Ni、As、Sb、Ag 正相关性很好，分别达到了 0.84、0.83、0.68、0.79，将其与围岩中的 Au 与其他微量元素的相关性做比较，金矿中 Au 的常规伴生元素 As 和 Ag 不论是在围岩还是矿石中，它们之间的正相关性都很好，它们在物质迁移过程中也就一起迁移的。再由于围岩和矿石的微量元素蛛网图也相似性也较高，并且围岩本身就出现了金元素的原始富集，所以综合这三点笔者推测该矿床的成矿物质可能部分来源于围岩。

矿石中的稀土元素配分模式与围岩和岩脉中的稀土分配规律整体有所类似，右倾，Eu 负异常，但是 Ce 不仅出现了负异常，而且还出现正异常。同时可以发现矿石中的 Eu 负异常与岩脉更为接近，反映出成矿物质可能取源于围岩，但

也可能有后期深部岩浆提供了动力和能量,即矿石为成矿期的热液活动对原岩进行交代、改造并将矿质留下而形成的产物,因此矿石仍然保留和继承了原岩的稀土元素含量特点,同时也与岩脉有相似之处。

2) 黄铁矿中钴含量在 98.4-152.5ppm 之间,而大多数黄铁矿中 Co 含量小于 Ni,但也有个别黄铁矿中 Co 含量大于 Ni。说明该矿床成矿围岩地层是主要物源,但同时也受岩浆热液的影响。

3) 黄铁矿中 Co/Ni 比值多在 1 以下,只有个别大于 10,说明该矿床属于中低温矿床。而且矿区变质作用中出现了绢云母化、绿泥石化也都是重要的中低温热液蚀变。

4) 石英:粗粒石英和细粒石英微量元素含量差异较大,暗示二者形成条件有所差异,不是同一时期形成。而且围岩蚀变中的硅化与金矿化关系密切,根据野外照片中石英切割的不同推断成矿可能经过多次改造。

5) 石英是金矿床中的重要矿物,近年来,国外利用中子活化分析石英中的稀土元素含量来推测金矿床的成矿物质来源已取得有意义的进展,而且新康猫金矿石英脉与金矿化关系密切。尤其与早期的网脉状石英有关。所以笔者将新康猫金矿床中石英的稀土元素同地球各圈层做对比,新康猫金矿的配分曲线和特征参数与原始地幔更为接近,甚至是稀土总量也较接近。虽然不能就此说明其成矿物质来源,但推测可能有深部流体参与成矿。

关键词: 新康猫金矿 微量元素 稀土元素 围岩 深部流体

Geochemical Characters of Trace Elements in Xin Kangmao Gold Deposit Which Locates in Hong Yuan, Si Chuan

Introduction of the author: Zeng Guangliang, male, was born in May, 1984, whose tutor was Professor Zhang Chengjiang. He graduated from Chengdu University of Technology in geochemistry major and was granted the Master Degree in June, 2009.

Abstract

Xin Kangmao gold deposit locate in the area which was formed by Songpan~Ganzi geosyncline in the west of Qinling orogen, the south of Aba plate and Long Menshan tectonic zone which towarded northeast. The deposit is dissemination gold deposit, and was found in the latest years, so this deposit also has the common and representative characters of Carlin-type gold depositis. This article starts from trace elements and rare earth elements, and respectively discusses the elements of wall rocks, ores and minerals, compares with each other lengthways, and at last contrast correlative elements of the deposit with the lavars of the earth. According to the results of contrast, we can study the source of substance, at the same time, we can also intensively realize the deposit. In this research, we picked out samples under microscope and lap minerals, and then got the data by neutron activation analysis.

The wall rocks where the ore exist compose a suit of low grade metamorphic rocks. We can classify these wall rocks by the difference of their granularities, and they are conglomerate, sandstone, siltstone and mudstone (slate).

The ores mainly are clastic rock, the mylonite and cataclasite formed in tectonism.

Combination of minerals: during ore minerals, pyrite and limonite account for much, and chalcopryrite, arsenopyrite, sphalerite and natural gold and so on are secondary. In gangue minerals, feldspar, quartz and clay mineral are major, in contrast, calcite and graphite are minor. There are widely metamorphosing in wall rocks, and the main are sericitization, silicification, pyritized(limonitization) and carbonation, besides these there are also clay, stibnitized, chalcopryritized, graphitization etc. The intensity of metamorphosing is closely relative with gold mineralization.

There are the conclusions as follows:

Au, As, Ag, W in wall rocks are less compared with the ones in ores, but much

more than Clarke values, conclude that the substance of ore came from formation, maybe the mineral hydrothermal fluids from the deep also affected the mineralization.

Comparing trace elements in wall rocks with the ones in ores, mineralization substance mainly came from wall rocks. But Zr and Hf in some ore samples are much less, this reflects that source of substance may have correlation with deep liquid. from mantle.

Representative characters of minerals: Co in pyrite are between 98.4 and 152.5ppm. In most pyrites, Co is less than Ni, but in particular pyrite, Co is more than Ni. We can conclude wall rocks and deep hydrothermal liquid jointly influenced the mineralization. The good correlation between Au in quartz and Rb, Zr, Hf also reflects this conclusion.

Comparing rare earth elements and their characters in wall rocks, rock dykes and ores, ores are more proximity with rock dykes. It reflects that not only wall rocks, but also magma and hydrothermal liquid work in mineralization. During the minerals, except pyrites, the characters of rare earth elements in quartzes and calcites are different with the ones in wall rocks. Comparing with the other earth layers, the characters of rare earth elements in quartzes are more proximity with lower crust.

From all the evidences above, we can conclude that: the main substance source of mineralization in Xin Kangmao deposit was wall rocks, but deep hydrothermal liquid also worked in the mineralization process.

The Co/Ni in pyrites are mostly less than 1, particularly more than 10, this reflects the deposit is low medium temperature deposit.

The mineralization process has undergone multistage hydrothermal liquid reform action. Evidence: the difference between trace elements in coarse grained quartzes and fine grained are large.

The quartzes in Xin Kangmao gold deposit are similar with the mantle, implying the source of substance was relative with mantle.

Keywords: Xin Kangmao Gold Deposit Trace Element Rare Earth Element

Wall Rocks Deep Liquid

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的
研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其
他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得成都理工大学或其他教
育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的人员对本研究所做的任何
贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：

年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解成都理工大学有关保留、使用学位论文的规定，
有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和
借阅。本人授权成都理工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，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：

学位论文作者导师签名：

年 月 日

第1章 引言

1.1 选题来源和意义

选题来源: 本文选题来源于由四川省化探队负责完成的国土资源大调查项目《四川红原刷经寺~马尔康龙尔甲地区金矿资源评价》(项目编号 200110200012)和四川省地质矿产勘查开发局项目《四川省红原县刷经寺新康猫金矿成矿规律及找矿方向研究》。该项目已取得了重大找矿成果,在红原刷经寺地区新发现新康猫微细粒浸染型金矿床,该矿床估算金资源量达 117 吨,达超大型规模,为四川省目前发现的最大规模金矿。

研究意义: 新康猫金矿床位于川西北“金三角区”这个特殊的地理位置,该区已经成为我国非常重要的金矿化集中区。其中几个比较著名的金矿如大水、马脑壳、东北寨、哲波山等金矿均产于川西北金矿成矿区。本文选择近年来新发现、且具有典型代表性的新康猫矿床为对象,由于该矿床所处地理位置相对其它该区的金矿又有所不同,介于东西部金矿带的交界处,情况复杂,而且在微量和稀土元素的方面前人对其研究还是较少,只有唐文春等曾对其中的矿物微量元素和稀土元素进行了大致的特征分析,所以本文借鉴前人关于该矿床可能有深部流体的参与的观点^[1, 2], 希望以微量和稀土元素为切入点,从全方位多角度进行对比,研究新康猫金矿床的成矿物质来源,以验证观点,揭示其成矿规律,同时加深自己对该卡林型金矿床的认识。

1.2 国内外研究现状

川西北地区金矿主要属于“微细浸染”型矿床。“微细浸染”是指矿石中的金和硫化物颗粒细微且弥散分布,与美国卡林金矿相似,笔者认为可以称做是类卡林型金矿。那么什么是卡林型金矿?为了便于将国内外同类型矿床进行对比,刘东升等^[3]把卡林型金矿定义为:产于沉积岩及浅变质沉积岩中,赋矿主岩主要为碎屑岩及碳酸盐岩;有一套中低温的矿物共生组合和围岩蚀变;金的粒度多为次显微—显微级;在成因上属浅成中低温热液(渗流热卤水)金矿床。

1.2.1 国外研究情况

自 1962 年在美国内华达州发现卡林金矿以来,美国又相继发现 30 个金矿床(潘彤^[4]等, 2003), 占美国金矿总产量的 60%, 在此之后世界各地也先后发现

了一系列与其类似的微细浸染型金矿,因此对于该类型矿床的成因和成矿模式探讨也逐渐引起人们的关注。

美国卡林型金矿主要特征

1) 层控(岩控)与构造控制显著

卡林金矿位于林恩构造窗东北部的薄层碳酸盐岩地层中,在空间上,卡琳金矿与塔斯卡罗拉山背斜以及某些高角度的正断层有关。而且断层控制的薄层碳酸盐岩断块给金成矿提供了有力的构造条件。区域成矿构造背景主要是黄石公园地幔热点活动区,大盆地幔隆区,大陆边缘裂陷带^[5]。

2) 地层

卡林型金矿赋矿地层为古生界和中生界,从寒武系—三叠系均有产出,但不同的矿集区有不同的赋矿层位。美国内华达州卡林型金矿的赋矿层位是志留系—泥盆系罗伯茨(Roberts)组和泥盆系波波维奇(Popovich)组,极少数矿体产于岩浆岩。

3) 岩性

国内外卡林型金矿赋矿岩石主要是不纯碳酸盐岩和细碎屑岩,两者接触部位最有利矿化。卡林型金矿集中分布的我国西南部和美国西部地区,与该区大面积发育巨厚碳酸盐岩-细碎屑岩建造有重要内在联系(涂光炽, 1992)。美国卡林型金矿床赋矿岩性,过去多描述为灰黑色粉砂质-泥质白云岩或灰岩。

4) 矿石、矿物、元素组合特征

美国卡林型金矿矿体分为上部氧化带和下部未氧化带,氧化带矿石包括淋滤和未淋滤;未氧化带的矿石可以分为正常矿石、黄铁矿矿石、碳质矿石和富砷矿石。原生矿石中的矿物为:黄铁矿、雄黄、雌黄、辉锑矿、辰砂、方铅矿、闪锌矿、绢云母、方解石和自然金等,尚有石膏和明矾。卡林型金矿通常元素共生组合比较接近,美国卡林型金矿元素组合为 Au-As-Hg-Ba-Ag-Tl-Mo-W,而且美国的 Tl 含量高,有大量红铊矿、硫铊矿灯含铊矿物的出现。

5) 围岩蚀变特征

围岩蚀变是卡林型金矿床的重要标志,包括硅化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化、辉锑矿化、辰砂化等。美国卡林型金矿床强蚀变矿化岩石和原生矿石最显著的变化是 CaO 和 CO₂ 减少, SiO₂ 被引入。

6) 成矿物质来源

美国内华达州 Steamboat 现代温泉口附近的硅质泥中金含量为 150×10^{-9} , 砷为 700×10^{-6} , 汞为 100×10^{-9} (White, 1981)。

成岩期黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 11.7‰~14.3‰, 矿石中热液黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 4.2‰~16.1‰, 矿化所需的硫绝大部分来自沉积地层。矿石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值落在未蚀变海成碳酸盐岩区间内, 结合包裹体的研究, 表明成矿溶液中的碳多来自围岩。

铅同位素组成比值为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=19.92$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.04$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=40.10$, 其值均落在罗伯茨山组岩石中铅的范围内, 与地层关系密切^[6]。

7) 成矿模式

1. 吉尔斯和尼尔逊式成矿模式

以吉尔斯和尼尔逊(1983)为代表的卡林型金矿床成矿模式强调赋矿位置不一定是唯一物源, 而可能有深部流体的参与。

2. 浅成低温热液成矿模式或热泉沉积成矿模式

L.J.布坎南(1981)、B.R.伯格(1983)、F.F.霍利斯特(1987)等认为卡林型金矿床是浅成低温热液金矿床的一个组成部分, 强调成矿与中新生代热泉活动关系密切。

3. 岩浆热液成矿模式

R.H.西里托(1990)、A.潘捷列夫(1986)等认为卡林型金矿床是岩浆热液体系的远源产物。即赋矿位置指示一个成矿的有利场所。

4. 浊积岩成矿模式

著名地质学家 R.W 哈钦森认为“卡林型金矿床是遭受晚期热液改造的浊积岩型金矿床, 而非一般的热液金矿床”。聂凤军(1982)指出卡林型金矿床除在 Hg、Bi、Sb、As、Fe 等元素丰度与浊积岩存在差异外, 其它地质特征极为相似。

5. 区域成矿模式

B.F.内斯比特(1988)认为从浅部高热梯度到深部中等地热梯度的多种构造环境中循环的天水有利于形成金属矿床, 从而得出从浅成热液型到卡林型至深成热液型金矿成因系列的认识。矿化随深度的变化, 形成矿床类型之间发育特征的差异, 但它们的基本地质作用是相同的。

1.2.2 国内研究情况

近二十年代, 我国在沉积岩系中发现了许多微细浸染型金矿床, 主要集中分布在滇黔桂三角区和秦岭地区的陕川甘交界地带两个大的成矿区带。

国内卡林型金矿主要特征

1) 成矿动力和组合构造控矿作用

我国重要的金矿带主要受裂谷带、俯冲带和碰撞带控制, 目前发现的卡林型金矿大多分布在扬子板块周缘的古裂谷带和弧后盆地。控矿构造主要是背斜倾伏端、转折端及翼部, 断裂破碎带及交叉部位, 尤其是一些沿不整合面发育的断裂破碎带。

2) 地层

我国滇黔桂地区卡林型金矿主要产于三叠系,其次为二叠系和泥盆系;秦岭地区以泥盆系为主,寒武系中也偶有产出(拉尔玛);川西北地区的东北寨金矿、丘洛金矿主赋矿层位为三叠系;滇西上芒岗金矿赋存于上侏罗统勐戛组。

3) 岩性

我国已知卡林型金矿金矿化,大多选择富粘土质、粉砂质和有机质细碎屑岩为容矿围岩,其次才是不纯碳酸盐岩。如滇黔桂金矿集中区以粘土岩、粉砂岩和细砂岩为主,次为不纯碳酸盐岩;川西北为砂岩、板岩和千枚岩,次为不纯碳酸盐岩;秦岭地区为砂、板岩,次为不纯碳酸盐岩和火山凝灰岩、硅质岩。

4) 成矿温度

如涂光炽等认为是低温($\leq 200^{\circ}\text{C}$),而刘东升等认为是中低温($165\sim 290^{\circ}\text{C}$),周余国^[7]认为温度的变化是一个渐变的模糊概念,如果规定 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 为低温,假设温度为 201°C 就可算中温,显然这种硬性规定是值得商榷的,最好用一个相对模糊地概念——中低温较妥当。

5) 矿石、元素组合特征

(1) 容矿岩石:刘东升等(1994)认为容矿岩石为沉积岩,刘继顺(2007)等^[8~11]认为容矿岩石除沉积岩外,还可扩展至(次)火山岩、火山沉积岩、浅变质沉积岩,甚至在花岗岩接触带及中酸性岩脉发育区周围产出的卡林型金矿也不断有所报道^[12]。

(2) 我国卡林型金矿原生矿物有:黄铁矿、砷黄铁矿、毒砂、辉锑矿、辰砂、雄黄、雌黄、自然金、方铅矿、闪锌矿、方解石、绢云母、高岭石、电气石等,尚有钠长石(陕西双王、二台子)。

(3) 我国卡林型金矿床元素组合为 Au-As-Hg-Sb-Ba-Ag,有时也含少量的 Tl(东北寨、二台子)。

6) 岩浆作用与流体性质:刘东升、Kuehn C A^[13]等认为与周围酸性岩无直接关系,而 H·西里托(1990),A·潘捷列夫(1986),认为矿源与热液均为岩浆岩,赋矿地层仅是有利赋矿层位,卡林型金矿是岩浆热液体系的远源产物。王登红^[14](2000)认为成矿流体非直接由岩浆结晶分异而成的岩浆期后热液,而更可能是从地幔柱中直接分离出来的,或者是地幔柱加热的各种地下水,当然也可能是两种或多种流体的混合,因而与出露的岩浆岩不一定直接有关,他们更可能是一种“兄弟关系”而不是“母子关系”^[15]。

7) 围岩蚀变特征

硅化-似碧岩化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化或脱碳酸盐化、辉锑矿化、辰砂化和粘土化

8) 成矿物质来源

一种观点认为,赋矿地层即是矿源层^[16];另一种观点认为,卡林型金矿的所有成矿元素在浅部热液系统中都是活动组分,热液流经范围的任何岩石都可能作为

这些元素的来源,因而赋矿地层不是成矿元素的唯一来源,也不存在特定的矿源层^[17];第三种观点认为,矿质主要来自地幔或地壳深部的岩浆活动或海底喷流作用而非沉积地层,赋矿层位仅由于其岩性或构造条件有利而起到“捕集器”的作用^[18]。

9) 成矿模式

(1) 渗流热卤水成矿模式

刘东升^[19]等(1985)认为,卡林型金矿的物源主要是深部的赋矿的地层,深部热卤水在岩浆等热动力的推动下,经过地层的同时萃取地层中的成矿物质,向上携带,到合适的位置沉淀成矿。

(2) 层控(沉积~改造)成矿模式

涂光炽院士在“中国层控矿床地球化学”专著中提出的观点。强调 Au 在地层中的初始富集作用并形成矿源层,经后期岩浆、构造、地热等地区作用进行改造,成矿。并且将这类矿床分为浅成型和中深层型两个亚类。

除了以上特点,二者在其他方面也有一些不同,美国微细浸染型金矿床十分集中,规模巨大,低品位矿床深部发现有超大型硫化富金矿体,成矿时代新、储矿层位少,矿石物质成分较简单,堆浸提金成功率高,资源开发利用率高。

我国该类型矿床成矿条件较复杂,分布广,且规模较小,超大型金矿床较少,在低品位矿深部找硫化富金矿未能突破。成矿时代比美国要早,储矿层位比美国要多,围岩性质及矿石成分复杂,堆浸提金成功偏低,资源开发利用率还不高等。

川西北地区微细浸染型金矿研究现状

川西北地区是我国微细浸染型金矿重要找矿远景区之一,上世纪 70~80 年代相继发现了东北寨、桥桥上、哲波山、马脑壳、阿西、联合村等金矿床,这些矿床分布于阿坝地块东缘。90 年代在阿坝地块西南缘又发现金木达、南木达金矿,特别是 2001~2003 年国土资源大调查在阿坝地块南缘运用系统的勘查地球化学方法发现的新康猫特大型金矿床,大大拓展了川西北地区找矿空间。

近二十年类,很多科研单位、院校和生产单位的许多地质工作者相继进入该区开展研究,并应用层控矿床成矿理论、生物成矿学说,提出了许多矿床成因模式。早期认为本类金矿成矿与岩浆活动无关,或属岩浆岩远端矿床。迄今尚有许多学者持此观点。其成矿作用主要观点有:(1)海底喷流沉积—改造成矿作用

(Geman, 1989)、(Hanington, 1986, 1988, 1989)、(Huston and Larg, 1989)、(郑明华等, 1991^[20]);(2)浊流沉积—改造成矿作用(郑明华等, 1994^[21]);(3)生物有机质成矿作用(胡明安, 1984, 1987, 1988)、(叶连俊等, 1990^[22])、(刘金钟等, 1992)、(王小春等, 1992)、(谢树成、殷鸿福等, 1991, 1992)。

以上对成矿作用的各种研究主要将重心放在沉积初始富集作用以及矿源层的形成作用。但是,成矿带所处的构造环境相当特殊复杂,依靠传统的层控矿床

理论来对该区域的成矿物源以及成矿模式进行探讨和研究不具有足够的说服力,所以有些学者和专家也开始从其他方面入手。

近年来研究发现,这类金矿床的空间产出与岩体的关系极为密切,紧邻矿(床)体常有岩体产出,少数矿田尽管地表未出露岩体,但其深部存在岩体。现有研究认为,岩浆活动为金矿成矿提供了足够的热动力。主要认识如下:

王全伟^[23]等(2003)认为,是这类金矿均产于一套极低级变质沉积岩系内,其中大量的沉积封存水和大气水为矿液的主体。赋矿的围岩不是成矿物质的来源,含矿液体经各种地质构造通道流经各个岩层,从中萃取矿物质,在合适的位置成矿。即矿液流经的任何地层都可能是矿源层。

张均^[24]等(2000)从地质异常、构造-岩浆活动等方面研究后认为,1)川西北地区金矿不仅受构造-岩相和沉积体系控制,而且受构造-岩浆控制。构造-岩浆活动是本区金矿形成与分布的重要成矿、控矿地质异常。因此,本区金矿床为双源复合成矿。2)含金浊积岩建造是该区金成矿的重要背景和物质基础,而构造岩浆活动是矿床形成和定位的关键因素。主要依据是本区赋矿围岩围岩多种多样;金矿产出受构造控制明显;大多数矿床中发育有印支-燕山期的小岩脉,蚀变与金矿化关系密切。3)利用同位素的方法判断本区金矿床的成矿物质和成矿热液,既有来自深部流体,也有物源部分来自赋矿围岩的,从而为双源复合成矿。

王可勇^[25]等(2001)对川西北微细浸染型金矿床石英脉及其特征研究认为,在川西北地区微细浸染型金矿床矿区范围内它们的主矿化阶段热液产物主要是黄铁矿-毒砂-石英脉、石英-辉锑矿脉等,该类石英脉在空间上多分布在矿化带范围,发育程度与金矿化强弱关系密切,据此认为该地区微细浸染型金矿床可以利用石英作为重要的找矿标志。

综上所述,对川西北微细浸染型金矿,长期都是以层控矿床观念为主,对于深部流体和岩浆可能带来成矿物质或者是提供动力方面研究较少。事实上,有些研究已经表明该区在燕山—喜山期以来,构造—岩浆活动较强烈,金矿化与岩浆活动在时间和空间上关系密切。因此,可以运用新的成矿理论和研究方法,将流体来源作为研究该类矿床成因的突破口,采用围岩、矿石、矿物中微量元素和稀土元素地球化学比对的方法,研究矿床成矿流体的来源,揭示矿床成矿规律。研究成果对丰富该类矿床成矿理论具有重要的科学价值。

1.3 研究方法和目标

1.3.1 方法

1、对围岩、矿石、矿物中的微量和稀土元素特征进行分析，对前人的成矿模式结论中围岩与矿石的微量元素的规律进行对比，进行横向的对比，以此希望找出该矿床的成矿类型。

2、对本身该矿床的围岩、矿石、矿物之间进行内部的对比分析，找出该类型的矿床中矿石主要产在哪中岩石中，或者是它们之间是否存在同源的关系。

3、对矿物中微量元素的规律分析，并与地球圈层进行对比，分析当时可能所处的环境。

4、主要是运用与地球化学相关的数据处理软件如 spss, mapgis, geokit 等对相关数据作出各种分析图加以判断。

1.3.2 目标

支持前人关于该矿床有深部流体的参与的观点，希望以微量元素为切入点，从全方位多角度进行对比，研究新康猫金矿床的成矿物质来源，以验证观点，揭示其成矿规律，同时加深自己对该卡林型金矿床的认识。

第 2 章 区域地质背景

2.1 大地构造

新康猫金矿床位于一个较为特殊构造环境中，主要由昆仑—秦岭褶皱带和松潘～甘孜地槽褶皱系阿坝地块南部以及北东向的龙门山推覆构造带形成的活动带内（图 2-1）。阿坝地块就在活动带内，主要由玛沁～略阳深大断裂、松潘～金川断裂带和鲜水河断裂带所构成（郑明华^[26]等，1994）。

阿坝地块前寒武纪古老基底富金地质建造对区域大型、超大型金矿床或矿床密集区的形成具有重要的控制作用（王世称等，2000）。据前人资料在燕山期～喜山期，阿坝地块受冈瓦纳大陆（也叫南方大陆）板块和劳亚板块（北方大陆）碰撞挤压变形，在此过程中，阿坝地块由于受力的不均，发生扭曲、断裂，导致了其周围发育了大规模的相对地块活动的褶皱造山带，这些部位通常都是对成矿有利的部位，对成矿流体的成矿提供了必需的空间好位置。地块西南缘发育的壤塘～理县剪切构造带总体呈北西西向展布，由青海省进入四川的壤塘南木达，经马尔康满都，折向北凸起经红原刷经寺后，折向南止于理县危关，长度大于 280km（王全伟^[27]，2002），该构造带地表发育一系列北西向的逆冲走滑断裂，构造带西段由一系列北西走向的次级断裂和褶皱，以及中酸性岩株与岩脉组成；东段由平行排列的北西向次级断列、复式褶皱构成，在刷经寺地区还发育近南北向的次级断列构造。新康猫金矿即位于该构造带中部的刷经寺地区。

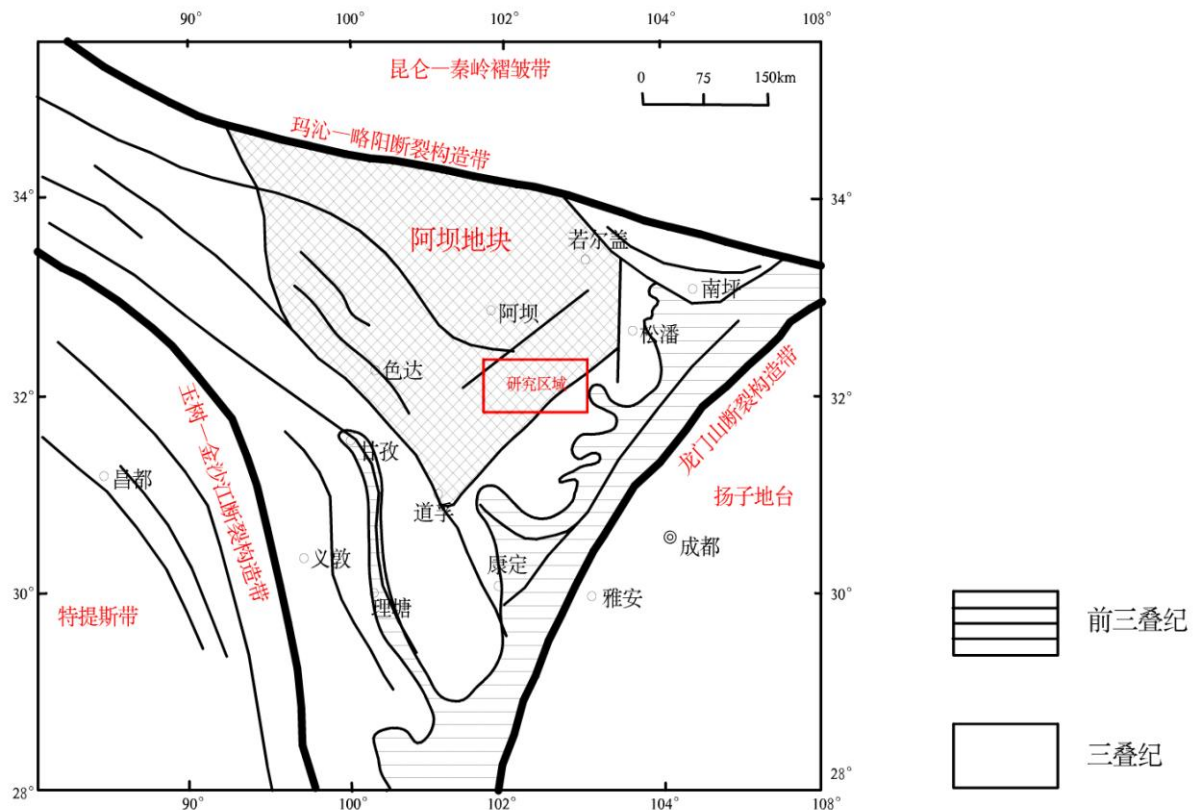


图 2-1 研究区大地构造位置略图(原图取材于张均^[28])

2.2 区域地质

区域地层特征

区域广泛出露中-上三叠统地层，岩性较单一，主要为冒地槽型复理石建造砂板岩，以韵律层为主，偶见少许灰岩。砂板岩大多具浊流沉积的海相地层特征。中～上三叠统地层按岩性段可划分如下：

1、杂谷脑组 (T_{2-3Z})

该组为类复理石碎屑岩建造，含化石稀少，经研究可分为两段。下段为灰色中厚层变质长石石英砂岩与深灰色板岩间互，夹不稳定泥晶灰岩，竹叶状灰岩和生物碎屑灰岩，厚 250-550m，与下伏地层为整合或假整合（海侵超覆不整合）。上段为灰色中层-块状变质石英砂岩、岩屑长石石英砂岩夹砂质钙质板岩、透镜状泥质灰岩，底部常见含砾砂岩或细粒岩，厚 380-650m，有些地方逾千米。

2、侏倭组 (T_{3zh})

该组为复理石韵律层，岩性为灰-深灰色薄-厚层变质长石石英砂岩、粉砂岩与板岩、千枚岩不等厚韵律式互层，偶见泥砂质灰岩薄层或透镜体，厚 400-2000 余米。与杂谷脑组整合过渡。

3、新都桥组 (T_{3x})

本组可分为上下两段，下段为深灰、黑色碳质板岩、粉砂质板岩夹灰色变质石英细砂岩、粉砂岩，中、上部可见砂泥质灰岩透镜体，后 100-700m。与侏倭组整合过渡。上段为灰、深灰色变质长石石英砂岩、粉砂岩与粉砂质板岩、板岩成段间互。厚 800-1000m 左右。

中～上三叠统地层含金背景值较高，具有明显的矿源层特征（表 2-1）

表 2-1 含矿岩系地层和原岩金的丰度 (10^{-9})

层位	地层	泥质岩	碎裂岩	灰岩
T ₃ x	6.28	6.03	8.8	
T ₃ zh	12.02	9.43	13.4	6
T ₂₋₃ z	4.3	1	1	1

（表中数据引自郑明华，1994）

区域构造特征

研究区位于巴颜喀拉甘孜褶皱系松潘褶皱带、西秦岭褶皱系南褶皱带与扬子准地台北西边缘的摩天岭褶皱带多种不同构造单元的复合部位。所处的环境构造活动强烈，多期多阶段作用，而且经历时间较长，且各种构造断裂方向多样，情况复杂。其中对区域控矿有明显的意义有以下三个构造组：

1、南北向构造组

此组构造主要由龙日坝断裂带、岷江断裂带和虎牙断裂带组成。此三条断裂带近于等距离平行排列，对金矿床的分布具有重要的控制作用。

（1）龙日坝断裂南北延伸约 200km，东西宽 5～10km。北端与玛曲东西向断裂相交，节点处发现有甘肃著名的大水金矿床；南端与北西向刷经寺断裂相接，刷经寺金矿受该构造影响明显。

（2）岷江构造带南北延伸 >100km，东西宽 10～15km。自东向西分别由漳腊断裂、垮石崖断裂、牟尼沟断裂带和其间的香腊台复背斜、扎尔山复背斜等组成。垮石崖断裂是直接控制矿床的断裂带，其中最著名的金矿床有东北寨金矿床等。

（3）虎牙断裂带南北延伸 50 余公里，东西宽 3～8km。北端与雪山东西向断裂相交，节点处发现有龙滴水金矿床；南端与北东东向青川断裂相接，对银厂金矿床起重要作用。

2、东西向构造组

此组构造为摩天岭东西向构造组的南组，主要包括雪山断裂带、黄龙复式背斜和雪宝顶倒转复式背斜等。雪山断裂带全长 50km 左右，主断面呈东西走向，舒缓波状延展，两侧伴有一系列小型冲断层、牵引褶曲，影响宽度达 1km 以上。该断裂曾多次活动，控制了桥桥上等层控型金矿床的分布。

3、北西～南东向构造组

此构造组属西秦岭构造系统的一个组成部分，以出现一系列的北西～南东向且呈大体平行的褶皱和断层带为特征。主要构造有玛沁～略阳断裂带、玛曲～荷叶断裂带、马尔康断裂带、壤塘～刷经寺～理县断裂带、刷经寺复式褶皱等。在此组断裂带和褶皱区中控制了一系列的金矿床（点）。最著名的当推马脑壳金矿床、金木达金矿床、新康猫金矿床，其中后两处矿床受壤塘～刷经寺～理县断裂带控制，也是我省近年新发现的金矿成矿带。

本区金矿的区域展布明显受控于区域构造格局和区域成矿规律。区内的大型断裂构造如玛曲—略阳断裂、岷江断裂、雪山断裂、荷叶断裂、黑水断裂、壤塘断裂、色达断裂、炉霍断裂等控制了区内已知的金矿床(点)的展布。

图 2-2 显示的为主要的成矿构造带：



图 2-2 川西北地区金矿构造带分布图（原图取材于王全伟等^[29]）

1、玛曲-略阳成矿构造带；2、荷叶成矿构造带；3、炉霍-道孚成矿构造带；4、岷江成矿构造带；5、阿西-哲波成矿构造带；6、壤塘-理县成矿构造带；7、青川-茂汶成矿构造带；8、雪山-平武成矿构造带；9、黑水断裂

变质作用

中～上三叠统地层岩石普遍受区域变质作用的影响而呈低级绿片岩相，原来较单一的冒地槽型复理石建造砂页岩，基本上都变质成为变质砂岩、板岩、千枚岩。在断裂构造作用强烈地段，局部形成构造片岩。在岩浆活动强烈地区，局部出现混合岩。

2.3 区域矿产

区域矿产分布特征

在三叠纪地层分布区，特别是中～上三叠统地层中，发现了许多金矿床、矿点和矿化点，如：大水、阳山、东北寨、马脑壳、银厂、哲波山、金木达金矿等。从图 2-3、表 2-2 可以基本明确区域矿床分布特征。

金矿床类型

区域上金矿床主要分布于阿坝地块东缘，产于中～上三叠统浊积岩中，矿石建造极其类似，发育（硅化）石英～含砷黄铁矿～毒砂～雌（雄）黄～辉锑矿～辰砂矿物组合，自然金呈微细粒或超微细粒，元素组合为 Au、As、Sb、Hg、(W、Bi)。可分为与蚀变构造带有关的微细浸染型金矿床和与中酸性侵入岩有关的微细浸染型金矿床两类。

1、与蚀变构造带有关的微细浸染型金矿床

该类矿床赋矿地层为中上三叠系；原岩建造为碳酸盐岩、砂板岩；含矿岩性为碎粒岩、碎裂化糜棱岩、碎裂化微晶片岩等；储矿构造为早期复理石沉积建造后期经脆韧性剪切改造形成的脆韧性剪切构造破碎带；矿床规模大，多为大中型（见表 2-2）。较为典型的为松潘东北寨金矿、九寨沟马脑壳金矿、平武银厂金矿。

2、与中酸性侵入岩有关的微细浸染型金矿床

该类矿床赋矿地层为中上三叠系；原岩建造为碳酸岩、砂板岩、玢岩；含矿岩性为碎裂岩、构造角砾岩、碎裂化糜棱岩；储矿构造为早期复理石、早期岩溶、次火山岩建造，后期脆韧性剪切中酸性岩体改造形成的脆韧性剪切构造破碎带；矿床规模大，多为大中型（见表 2-2），其中较为典型的为玛曲大水金矿和壤塘金木达金矿。

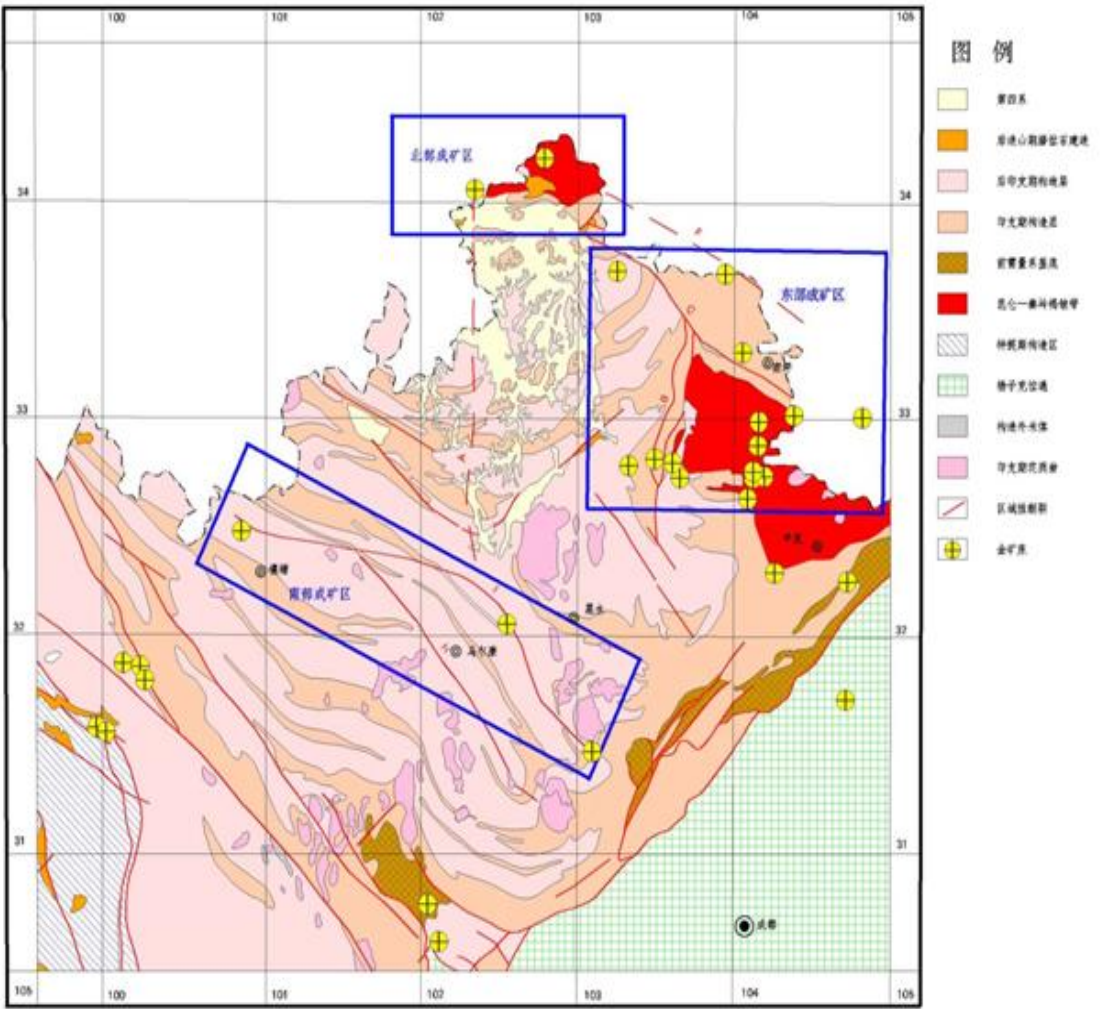


图 2-3 四川省西北部区域构造及金矿床分布（据唐文春，2008）

表 2-2 川西北地区典型金矿床特征简表

矿床名称	赋矿地层或岩体	原岩建造	容矿岩石	储矿构造	矿体特征	矿床规模
大水金矿	$T_{2-3}Y_5^2$ (?)	碳酸盐岩、砂板岩、玢岩	碎裂岩、构造角砾岩	早期岩溶、次火山岩建造，后期脆韧性剪切改造	圈定 77 个金矿体，长 20-220m，厚 0.84-29.36m，品味 $1.0-29.36 \times 10^{-6}$	大于 20 吨
马脑壳金矿	T_{2-3}	砂板岩	碎粒岩、碎裂化糜棱岩	早期复理石沉积建造，后期脆韧性剪切改造	圈定 20 条矿体、厚 21-72m，长 0.68-1km、品位 $3-10 \times 10^{-6}$ 。	大于 20 吨
银厂金矿	T_{2-3}	碳酸盐岩、砂板岩	碎粒岩、碎裂化糜棱岩	早期南北向脆韧性剪切，后期东西向脆韧性剪切改造		大于 20 吨

续表 2-2 川西北地区典型金矿床特征简表

矿床名称	赋矿地层或岩体	原岩建造	容矿岩石	储矿构造	矿体特征	矿床规模
东北寨金矿	T_3	碳酸盐岩、砂板岩	碎粒岩、碎裂化微晶片岩	早期复理石沉积建造，后期脆韧性剪切改造	圈定 20 条矿体、厚 1.42-4.23m，长 0.3-1.6km，品位 $3.88-4.73 \times 10^{-6}$	50 吨
金木达金矿	$T_3\gamma_5^2(?)$	砂板岩、玢岩	碎粒岩、碎裂化糜棱岩	早期复理石、次火山岩建造，后期脆韧性剪切改造	圈定 13 条矿体、厚 1.6-13m，长 60-610m，品位 $3-10 \times 10^{-6}$	远景大于 20 吨

注：表中数据大部分取自唐文春，2008；对大水金矿补充资料来源于李向东等，2006^[30]

第3章 矿床地质特征

新康猫金矿床位于红原刷经寺新康猫，地理坐标为东经 $102^{\circ} 30' 19'' \sim 102^{\circ} 33' 49''$ ，北纬 $32^{\circ} 02' 54'' \sim 32^{\circ} 06' 09''$ ，南起于德合隆，北止于七棵树，面积 25km^2 。

3.1 赋矿地层

矿区主要出露地层为三叠系上统侏倭组 (T_3zh) 和新都桥组 (T_3x)，地层总体呈北西~南东向，与区域构造线展布一致 (图 3-1)。

(1) 侏倭组 (T_3zh)

主要分布于矿区中部，是构成背斜轴部的地层，出露面积 15km^2 。根据岩性特征、矿物成分以及含矿性等，将其划分为 3 个岩性段。厚 $>300\text{m}$ (未见底)。从下向上分为三个岩性段。

① 侏倭组一段 (T_3zh^1)

灰、深灰色中厚层状变质长石石英砂岩、中粗粒石英砂岩夹含炭质绢云母板岩、粉砂质板岩，局部可见一层底砾岩。偶见浸染状黄铁矿、针状毒砂。厚 $>150\text{m}$ 。

② 侏倭组二段 (T_3zh^2)

为主要的含矿层。灰、深灰色中厚层状变质含钙岩屑长石石英砂岩、粉砂岩与砂质板岩、含炭绢云母板岩组成韵律，可见浸染状、立方体状黄铁矿和针状毒砂。厚约 65m 。

③ 侏倭组三段 (T_3zh^3)

灰、深灰色薄~中层状变质含钙长石石英砂岩、岩屑石英砂岩与深灰色含炭绢云母板岩、砂质板岩组成韵律，可见浸染状、立方体状黄铁矿。与上覆新都桥组呈整合接触，其接触部位为主要的含矿层位。厚约 60m 。

(2) 新都桥组 (T_3x)

主要分布于矿区东西两侧，是构成向斜轴部的地层，出露面积 10km^2 。根据岩性特征划分为 2 个岩性段。

① 新都桥组一段 (T_3x^1)

深灰色含炭质板岩、绢云母板岩、砂质板岩夹变质黑云母石英砂岩，局部见厚层块状变质岩屑石英砂岩透镜体，板岩中可见生物蠕虫痕迹。与下伏侏倭组呈整合接触，厚约 70m 。

② 新都桥组二段 (T_3x^2)

深灰色绢云母板岩、粉砂质板岩夹极少量薄层状变质石英砂岩、粉砂岩，板岩与砂岩之比约 5:1。板岩中见少量黄铁矿立方体晶体。厚约 60m (未见顶)。

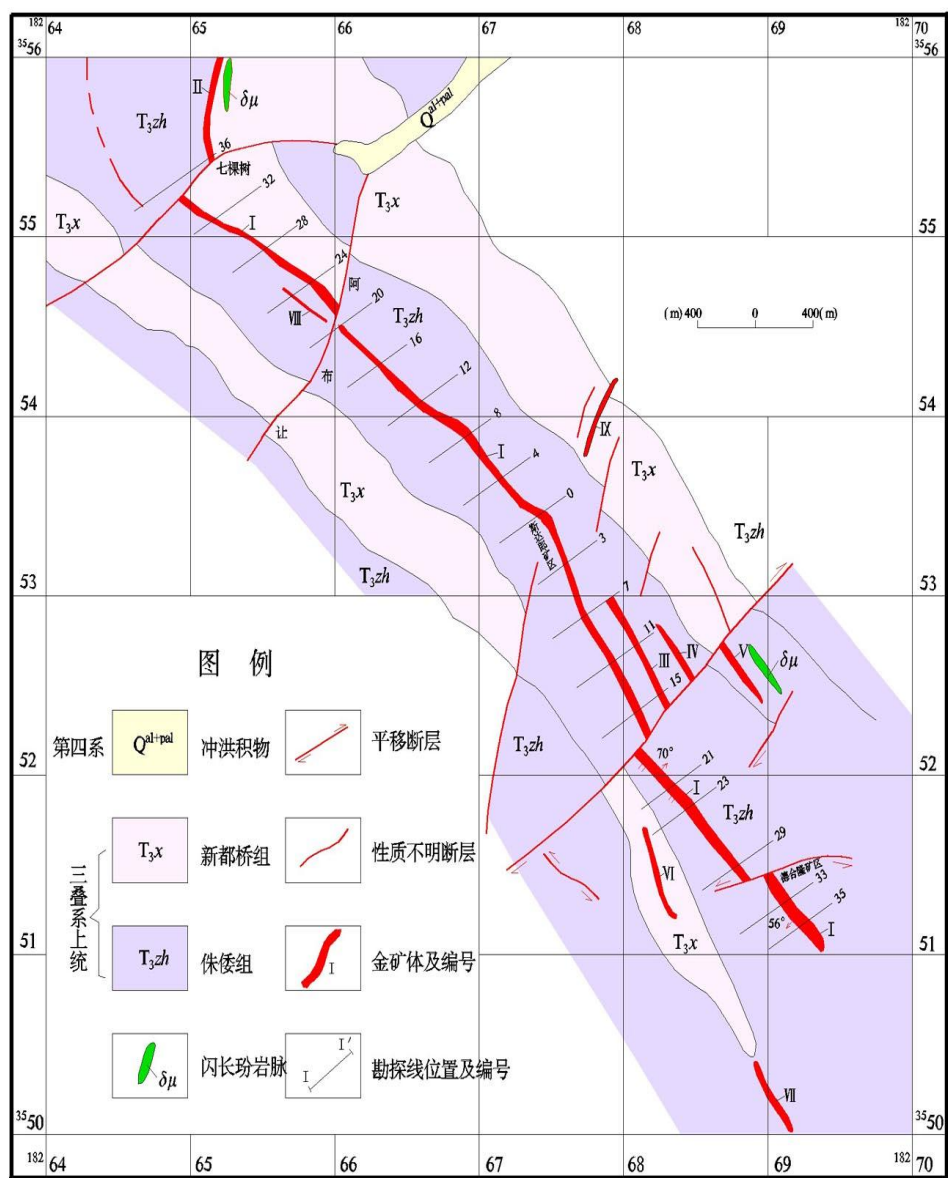


图 3-1 新康猫金矿床地质略图（据唐文春, 2008）

地层中金的地球化学特征

根据地球化学背景场区的金测试结果的统计，侏倭组和新都桥组分别为 5.35×10^{-9} 和 6.32×10^{-9} ，均高于克拉克值。并且，两组地层中Au的离散程度和变化系数较大，即分布不均匀，这样是有利于金的局部富集。

赋矿层位

矿区赋矿层位主要有三个（图 3-2）：

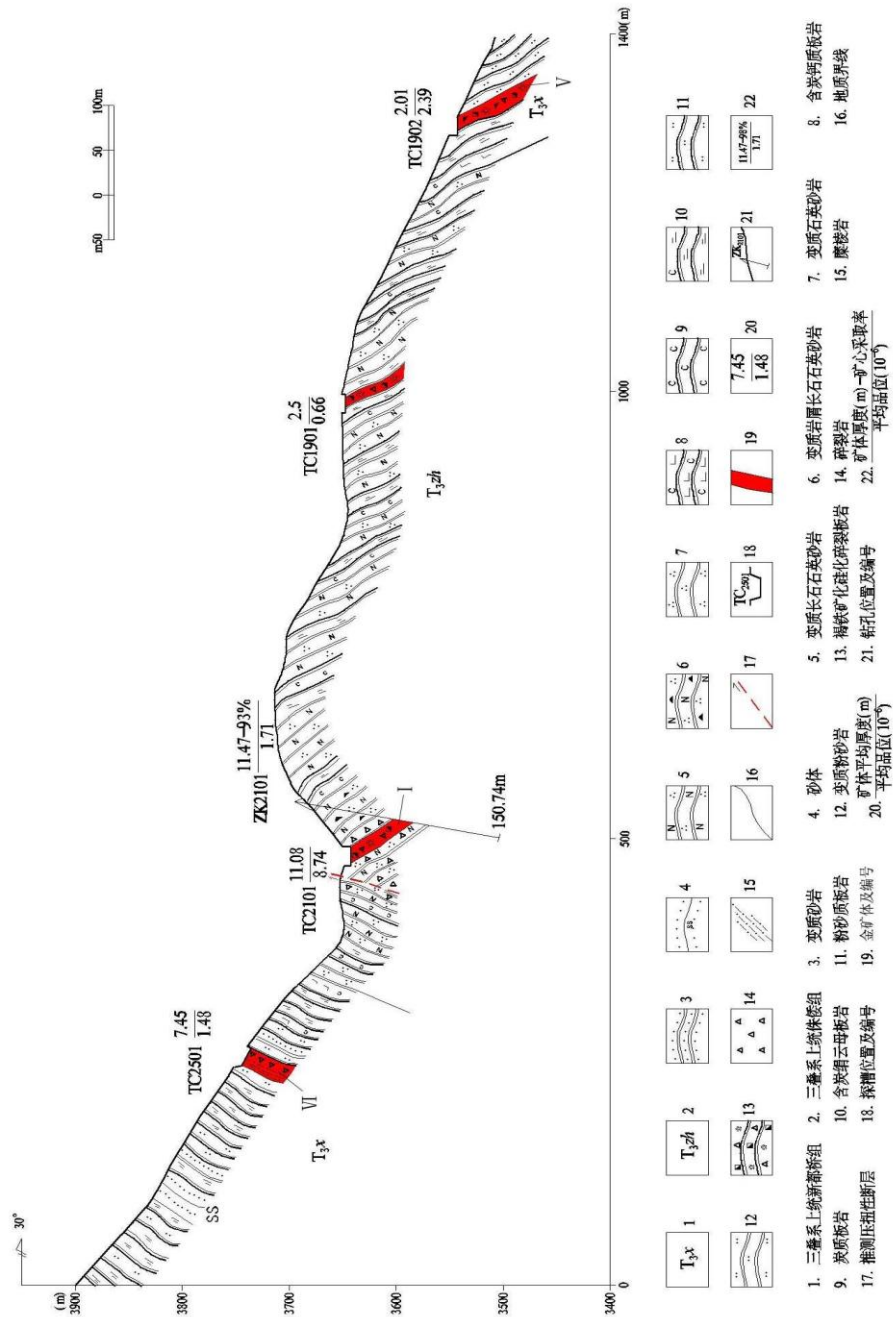


图 3-2 新康猫矿区 A—A' 地质剖面图 (据唐文春, 2008)

(1)侏倭组中部:分布在矿区中部, 由板岩、粉砂岩、岩屑石英砂岩等组成。新康猫矿区 I 号矿体即产在该层位中, 为矿区主要的赋矿层位, 矿化程度和强度均较高, 规模较大。矿化带宽约 50~200m,, 倾向 SW 或 NE, 走向 NW, 延伸大于 6km, 与区域构造线展布一致, 由一系列密集平行排列的剪切带构成。各剪切带横向上由中心向两侧可分为 4 个带 (图 3-3):

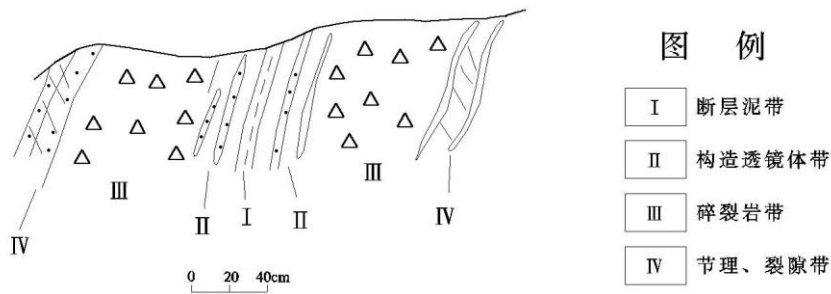


图 3-3 破碎带分带性示意图（据唐文春，2008）

I 带：断层泥带，宽约 10~50cm，具微弱褐铁矿化，金矿化较弱。

II 带：构造透镜体带，宽约 0.5~1.5m，多为岩屑石英砂岩、石英脉透镜体，片理化强烈。该带不稳定，其尖端常是矿体厚度变厚部位。黄铁矿化较发育，含量约 2~6%，呈浸染状或细脉状，金矿化较微弱。

III 带：碎裂岩带，该带较宽，约 2~8m。碎裂岩由砂、板岩碎裂而成，褐铁矿化、硅化、碳酸盐化最强烈，金矿化程度亦最高，为主要的含矿带。

IV 带：节理、裂隙密集带，主要为矿体顶、底板岩层受构造作用的影响，节理、裂隙发育，张裂隙中往往充填方解石、石英细脉，呈羽列状排列。

（2）侏倭组顶部与新都桥组底部接触部位：由绢云母板岩、石英砂岩等组成。II 号矿体即产在该层位中，亦是矿区重要的含矿层位。矿化带宽约 10~50m，走向北西，倾向南西，延伸大于 2km，往北矿化带有狭缩之势。构造透镜体由岩屑石英砂岩组成，节理、裂隙发育，内可见 1~5% 的浸染状黄铁矿以及少量针状毒砂，金矿化程度强烈。

（3）新都桥组中部：由砂质板岩、炭质板岩、中细粒石英砂岩等组成。该层位中矿化程度和强度均较差，矿化不连续，规模亦较小。矿化带宽约 5~20m，多呈北西向展布，纵向上延伸不稳定，膨缩变化特征明显。

岩石学特征

矿区内已认定的浊积岩系，其岩石组成为一套浅变质岩系。按粒度的不同可分为砾岩（直径大于 2mm 的碎屑占 30% 以上者）、砂岩（2~0.05mm 的碎屑占 50%），粉砂岩（0.05~0.005mm 的碎屑占 50% 以上）和泥质岩（板岩）（小于 0.005 的碎屑占 50% 以上者）。

（1）砾岩：矿区内砾岩分布较少且不稳定，主要在侏倭组底部，属层间砾岩。单层厚数厘米至数米不等。砾石大小差别悬殊，砾径 2~50mm 不等，最大砾径可达 100mm。砾石的成分复杂，主要有炭质板岩、硅质岩屑、长英质岩屑、火山碎屑和石英等。填隙物约为 40~50%，以粉砂质、泥质杂基为主，可见少量铁质和硅质。

(2) 砂岩：砂岩多具砂状碎屑质结构、块状构造，粒径变化在 0.01~2mm 间，碎屑成分主要为：石英 40~50%，硅质岩屑 5%，酸性火成岩屑 15%，长石 5%，石灰质岩屑 3%，白云母 1~2%；胶结物：泥质含较多细粉砂质杂基 25%，另外见少许细粒铁质，偶见电气石、榍石。碎屑成分总体来说成熟度较低，可能反映搬运距离不远。

(3) 粉砂岩：粉砂岩的成分与砂岩类似，常与各类杂砂岩和粉砂岩互层，以石英为主，次为绢云母，长石和岩屑极少见。碎屑物质的分选性较砂岩高，粉砂岩中的泥质和钙质组分含量较高。

(4) 板岩：板岩主要为泥质结构、鳞片状结构，定向构造，矿物成分以绢云母为主，少量石英碎屑、碳酸盐矿物以及少量细粒黄铁矿，粒径变化在 0.003~0.01mm 间。岩石中由于富含有机质而使岩石呈灰黑色和深灰色，局部岩石中因含较多的火山凝灰物质而呈灰绿色。

含矿岩石特征

新康猫金矿床主要含矿岩石为碎屑岩类和构造作用形成的糜棱岩、压碎岩类。

(1) 碎屑岩类：为细砂岩、粉砂岩、泥岩，细砂岩主要为岩屑杂砂岩。

(2) 糜棱岩类：可分为糜棱岩化岩石和糜棱岩，主要由板岩受构造作用形成，在区内分布较少。糜棱岩化岩石：以测区东部的韧性剪切带为代表，碎斑达 90% 以上，具粒状变晶结构，岩石受糜棱岩化明显，糜棱面理发育、方解石沿糜棱面理动态重结晶。糜棱岩：多分布在山脊地段，岩石具糜棱结构、碎斑结构，定向构造，含斑粒径 < 0.2mm，含量 < 50%，碎斑与其外缘碎粒构成不对称眼球碎斑系，面理发育，绢云母沿糜棱面理动态重结晶，平行运动方向的拉伸线理发育。

(3) 压碎岩类：本类岩石在测区动力变质过程中，仅以压碎、碎裂、破裂为主，原岩的成分、结构大多保留，按其破碎程度，分为构造角砾岩、碎裂岩等岩石。构造角砾岩：主要在七棵树一带沿断裂破碎带分布，其中的马石角砾岩呈透镜状，以断层面为界，长数米~数十米。而断层角砾岩主要由断层角砾和断层泥组成，破碎的角砾、碎块之砾径 5~200mm，甚至更大，杂乱堆积，由碎粉及次生的铁质、硅质、碳酸盐质胶结。碎裂岩：主要沿脆性剪切带分布，岩石具碎裂结构，岩石碎块大小不一，一般砾径 5~20mm，以至更细，初具定向排列，碎块有拉长、破碎及裂缝，其间填隙大量碎裂时磨细的碎粉。碎粉有重结晶现象，碎块间或碎块裂隙内多充填碎粉及其新生矿物，通常被次生的铁质、硅质、碳酸盐质胶结。



照片 3-1 破碎带中的糜棱面理发育 (BT1201)

3.2 矿区构造

矿区内构造非常发育，主要表现为以层理为变形面的纵弯褶皱和多期多向断裂构造，具体情况如表 3-1 所示：

表 3-1 新康猫金矿区主要断裂构造索引表 (据唐文春，2008)

断层 编号	产 状			长度 (km)	断层说明	性质
	走向	倾向	倾角			
F1	NW	陡倾	55-85	>10	带宽 20-100m, 为主要的控、容矿构造	走滑剪切
F2	NE			>3	迹象不明, 依据宏、微观素材及卫片解译	平移断层
F3	NE			>2	依据宏观和微观素材及卫片解译	平移断层
F4	NE			>2	依据宏观和微观素材及卫片解译	平移断层
F5	NW	陡倾	55-70	2.0	带宽 30m, 为次一级容矿构造	走滑剪切
F6	NW	SW	50-70	0.5	带宽 15m, 为次一级容矿构造	走滑剪切
F7	NW	SW	50-70	0.5	带宽 10m, 为次一级的容矿构造	走滑剪切

续表 3-1 新康猫金矿区主要断裂构造索引表(据唐文春, 2008)

断层 编号	产 状	长度 (km)	断层说 明	性质	断层 编号	产 状
F8	NW	SW	50-70	0.5	带宽 10m,为次一级的容矿构造	走滑剪切
F9	NW	SW	50-80	1.0	带宽 15m,为次一级的容矿构造	走滑剪切
F10	NW	SW	50-70	0.5	带宽 10m,为次一级的容矿构造	走滑剪切
F11	NW	SW	60-85	0.3	带宽 10m,为次一级的容矿构造	走滑剪切
F12	NE	NW	50-65	1.0	陡倾顺扭	平移断层
F13	NE	NW	50-70	0.3	陡倾顺扭	平移断层
F14	EW	NNW	40-60	0.5	陡倾反扭	平移断层
F15	NE	NW	50-65	0.5	破碎带宽 8m, 具有矿化现象	逆断层
F16	NE	NW	50-65	0.5	破碎带宽 8m, 具有矿化现象	逆断层
F17	NE	NW	50-65	0.5	破碎带宽 8m, 具有矿化现象	逆断层
F18	NE	NW	50-65	0.5	破碎带宽 8m, 具有矿化现象	逆断层
F19	NE	NW	50-65	0.5	破碎带宽 8m, 具有矿化现象	逆断层
F20	NE	NW	50-65	1.0	陡倾顺扭	平移断层

矿区内发育一系列 NW 向展布的复式倒转背、向斜, 其基本特征为: 呈线形展布, 且多为轴面陡倾的同斜倒转褶皱。向斜北端仰起, 背斜向南倾伏; 展布特征呈左列雁行式排列, 反映为近东西向挤压兼近南北向剪切反扭作用形成。涉及地层为侏倭组、新都桥组地层, 一般侏倭组构成背斜轴部, 新都桥组构成向斜轴部。由西向东褶皱轴间距逐渐加宽, 轴向 NNW 向 N 偏转。

矿区内断层较发育, 主要表现为 NW 向的新康猫韧~脆性剪切带 (F1), 控制着区内金矿体的分布, 为主要的控容矿构造。此外, 矿区还发育 NE、近 S~N 向的韧脆性~脆性断裂, 其倾向 NW 或 SE, 倾角较陡, 前人认为这是属于成矿后的破矿构造。但是通过详细观察研究可以发现, 该组断裂对成矿, 特别是富大矿体有重要的控制作用。

(1) NW 向韧脆性剪切带: 由许多条强、弱应变带构成, 呈线状或带状展布 (表 3-1, 图 3-1), 如 F1、F5、F6、F7、F8、F9、F10、F11 号剪切带, 长 0.5km~

数十公里，宽 10~100m，与区域构造线展布一致，其产出无明显的高程约束；若无后期断裂影响，则位移两盘之间并无明显的构造界面截然分割，反映出为早期深部断裂经后期暴露的构造形迹。其中 1 号剪切带为主要的控矿构造（新康猫 I 号矿体即受该剪切带控制），其余为次一级的容矿构造，剪切带呈舒缓波状，倾向 SW 或 NE，倾角 50-85°，近地表由于重力作用，有变缓之势。断裂带内岩石变形变质作用强烈，广泛发育黄铁绢英岩化。构造岩类型主要有糜棱岩、构造片岩、碎裂岩等。野外观察发现断裂带内韧-脆性变形标志明显，主要表现为增强的面理构造、压扁褶皱等。脆性变形主要表现为断裂带内发育大量的构造碎裂岩，变形组构主要包括切穿面理的变形脉体、雁列式张裂脉、破裂面及裂隙等。

（2）NE 向、NNE 向、近 SN 向韧脆性断裂。如 F2、F3、F4、F12、F20，其特点具有：成组出现，断面陡立，有明确的断层面分割、错移两盘地质体，以逆冲断层为主，也有平移断层，与 NW 向断层结合部位，以切割、压盖关系反映出序次关系；呈线式或面式展布，沿断层面发育有片理化、碎裂岩带，但规模不大；并沿断层带见有石英-碳酸盐质脉体充填。前人将 NE 向、NNE 向断裂都看成是破坏矿体的构造。本次研究发现，NNE 向或近 SN 向韧脆性断裂与北西向断裂交汇部位，硅化或石英脉发育程度明显加强，矿化带变宽，矿体变大，品位增高。有些 NNE 向或近 SN 断裂具矿化现象，有一些规模较小的具工业意义的矿体。

3.3 岩浆活动与变质作用

岩浆活动

矿区内出露岩浆岩较少，仅在斯大郎、七棵树见少量蚀变闪长玢岩脉、蚀变英安岩脉，岩脉长约 100~500m，宽约 10~50m，另外在斯大郎 BT001 见宽约 1-3m，长大于 100m 的碎裂花岗岩脉。前两者岩脉均侵位于新都桥组中，后者侵位于侏倭组地层中。

（1）闪长玢岩脉：斑状结构、块状构造，斑晶由角闪石（20%）及黑云母（10%）组成，两者均已蚀变；基质细粒，粒径在 0.1~0.2mm 之间，主要由斜长石（60%）及少量石英（5%）、绿泥石（5%）组成。副矿物有磷灰石、磁铁矿和少量榍石。蚀变发育，以绿泥石化、碳酸盐化为主

（2）蚀变英安岩脉：斑状结构、块状构造，斑晶主要为角闪石（20%），斜长石（2~3%）、石英偶见，均已蚀变；基质已全部蚀变形成细粒不等粒的方解石、石英及少量绢云母和钠长石集合体。

（3）碎裂花岗岩：碎裂结构，半定向构造，碎斑由石英（40%）、斜长石（>5%）、钾长石（2%）组成；碎基由长英质（40%），白云母+绢云母（10%），黄

铁矿（1-2%）等组成。岩石中次生裂隙发育，裂隙不规则，主要叠加在碎基部分，平行碎基分布并被褐铁矿浸染。

矿区岩脉多由于构造作用呈碎裂状，黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化发育，经取样分析具有矿化现象。

变质作用

矿区除第四系为未变质体外，其余地层均为变质体。区内变质岩具有纵向成层叠置，横向面式展开的变质格局。变质程度不深，沉积构造保存完好，根据室内对其结构、构造、特征矿物组合分析，为一套低压相系低绿片岩相的区域变质岩；自侏倭组→新都桥组，岩石结构由变晶结构→变余结构，岩石构造由片状→板状，变质矿物由黑云母（Bit）→绢云母～绿泥石（Ser～Chl）的变化关系。

3.4 近矿围岩蚀变

矿区围岩蚀变发育，较普遍的是绢云母化、硅化、黄铁矿（褐铁矿）化、碳酸盐化，此外还有粘土化、辉锑矿化、黄铜矿化、石墨化等。蚀变的强弱与金矿化密切相关。

绢云母化：矿区内普遍发育，有热液活动的部位均有不同程度的绢云母化。在剪切带内多沿面理分布。

硅化：沿矿带均有分布，从矿化带中心往外，石英脉由细小网脉状变为较粗大，并由强减弱。依据野外观察，区内多组石英脉相互切割，判断区内硅化具多期：早期为微晶它形分布于蚀变岩石中；矿化期以细小网脉状石英为主，多沿岩石裂隙分布；晚期为粗大的纯白石英脉、方解石～石英脉；最晚的是石英晶簇和岩石孔洞中的蛋白石。其中，网脉状石英脉与金矿化关系最密切。

黄铁矿化：在矿带内广泛发育，与金矿化的关系最为密切，为金矿化的直接标志。以浸染状、细脉状、莓粒为主，早期基本上是由原生黄铁矿经重结晶而成；主期多为含砷的环带状黄铁矿集合体；晚期自形程度较高，以立方体黄铁矿为主。地表多氧化为褐铁矿

碳酸盐化：多集中在矿化带内，根据薄片鉴定成果，按碳酸盐矿物特征大致分为两期，早期以较粗粒不规则粒状方解石组成的斑块状集合体，相对较洁净，局部因含少许细粒包体而呈褐灰色；后期以富含褐铁矿浸染的褐黄色致密状方解石为主，部分呈细脉状穿切上述方解石或沿早期方解石的边缘分布并穿切石英脉，其成因可能与黄铁矿化及次生氧化有关。



照片 3-2 多期石英脉

3.5 矿石

矿石的矿物组合及主要矿物特征

矿石的矿物成分可分为矿石矿物和脉石矿物两类，矿石矿物主要为黄铁矿、褐铁矿，次为黄铜矿、毒砂、闪锌矿、自然金等，含量 5~10%；脉石矿物主要为长石、石英及粘土质矿物，次为方解石、石墨等，含量一般在 90% 以上（表 3-2）。

表 3-2 矿物成分表

主要矿物（>70%）	次要矿物（1~30%）	微量矿物（<1%）
长石、石英、粘土	方解石、黄铁矿、褐铁矿、 绢云母、绿泥石	黄铜矿、闪锌矿、针铁矿、石墨、 方铅矿、毒砂、辉锑矿、自然金

自然金：少见，呈金黄色，性软，呈树枝状与闪锌矿、石英连生或粒状包裹于石英中、方解石、石英颗粒边缘，粒径长约 0.025mm，宽约 0.0075~0.0125mm，成色约 800。

黄铁矿：主要为五角十二面体、立方体、球粒状；按形成先后有成岩期和成矿期两种，成岩期主要呈自形粒状，粒度为 0.01~0.025mm，主要分布在碎屑和有机质中。成矿期黄铁矿主要呈半自形粒状、莓粒状集合体，粒度为 0.1~0.4mm，主要分布在碎屑之间的胶结物中。

石英：据野外和镜下观察，可见二种：一为自形、半自形粒状石英或粒状集合体，粒度 0.01~0.2mm，沿裂隙呈细脉状或细网脉状，脉宽<0.1mm。二为沿张裂隙分布的石英脉，脉宽约 1~20mm，长数十厘米~数米，脉相互穿插呈网脉状。

毒砂：亮白色，非均性较强，自形程度高，晶形断面为菱形、楔形、长柱形，呈浸染状分布于石英、方解石等矿物中。

闪锌矿：呈他形粒状，产于石英粒间或石英细脉中。

方铅矿：多与黄铁矿和石英连生。

黄铜矿：呈他形粒状集合体，分布于石英、方解石等矿物中。

矿石的结构、构造

矿石组构种类较多，其结构有砂状、碎屑状结构、交代结构、鳞片状结构等，构造以碎裂状、微细粒（脉）浸染状、网脉状构造、块状构造、角砾状构造为主。现将矿石主要结构并结合相应构造列述于下：

（1）砂状、碎屑结构

主要见于碎裂状岩屑砂岩、碎裂岩中，由砂状碎屑和胶结物组成。粒径大小不一，变化在 0.01~0.6mm，碎屑主要由石英、硅质、长英质、钙质、云母等岩屑和碎屑组成；胶结物以水云母为主，细小的鳞片状集合体，充填并围绕碎屑粒状分布，总体以充填和带状胶结为主，局部可能发生基底式胶结。次生变化主要为碳酸盐化，形成粒度大小不一的方解石集合体。此类矿石的构造，常具有碎裂状构造和块状构造。

（2）交代结构

主要见于次生石英岩中，由粒级和自形程度不同的石英组成，部分石英岩几乎全部被方解石集合体交代，仅保留碎屑外形。

（3）细脉穿插结构

主要见于网脉状岩石中，为石英细脉、绿泥石细脉、黄铁矿细脉的互相穿插。该类结构的矿石常呈网脉状构造、微细粒（脉）浸染状构造。

（4）鳞片状结构

矿石组分主要由石英、硅质岩屑、斜长石组成，泥质已全部绢云母化，并呈定向分布（灰白色鳞片状），同时叠加细粒碳酸盐化（褐色细粒集合体），鳞片状矿物粒径<0.005mm。此类结构的矿石常具有块状、层状、土状构造。

矿石类型

矿区金矿石的自然类型可分为氧化矿石、原生矿石，目前控制的氧化矿石占矿石的 99%，氧化深度>100m；原生矿较少见，仅在部分钻孔深部可见。矿物组合有黄铁矿、石英、毒砂、方解石、辉锑矿、闪锌矿、方铅矿、粘土矿物及少量炭屑等。总体氧化矿石品位较原生矿石品位高。

根据化学成分和有关矿物组合,将矿石分出 4 种类型,即弱蚀变矿石、硅质矿石、黄铁矿质矿石和毒砂质矿石。弱蚀变矿石是指其组分与不含金的同类岩石大体相似,蚀变作用不明显,渗透交代及充填作用微弱,只有少量元素的带出和带入;硅质矿石是指矿石受硅化作用明显, SiO_2 含量较高,金的含量最高;黄铁矿质矿石则含黄铁矿较多,一般大于 3%,金的含量较高,但亦有不含矿者;毒砂质矿石 As 的含量往往高于其它矿石类型几倍至几十倍,金含量次于前两种。但矿石类型并非这么简单,常常是这几种矿石类型的组合:褐铁矿化碎裂状岩屑砂岩型金矿石、褐铁矿化~硅化碎裂岩型金矿石、褐铁矿化糜棱岩型金矿石、黄铁矿化~硅化~毒砂化碎裂岩型金矿石、褐铁矿化糜棱岩化型金矿石。

3.6 样品的采集、处理与分析

采集:本次采集任务主要从侏倭组中部和新都桥组的赋矿层位以及围岩岩脉都做了采样工作,具体围岩 10 件(板岩 4 件,石英砂岩 6 件),矿石 14 件(含 2 件碳质板岩,其余全为蚀变岩石),岩浆岩脉 2 件,矿物 21 件(方解石 2 件,石英 14 件,黄铁矿 5 件)

所有样品微量元素和稀土元素采用堆中子活化分析,测试方法:对采集的样品进行碎样,在显微镜下挑选出纯净的单矿物。矿物样品磨至 200 目以下,送中国工程物理研究院池式反应堆中照射,中子注量率约为 $1 \times 10^{13} \text{n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$,照射时间约 10 小时。由成都理工大学核技术与自动化工程学院核分析实验室采用美国 CANBER 公司生产的 Ge(Li) 半导体探测器加 4096 道分析器测定,相对误差为 5%~10%。

第4章 微量元素地球化学特征

微量元素地球化学是近代地球化学的一个重要分支学科,顾名思义,微量元素地球化学是研究微量元素在地球(包括部分天体)各部分的分布、化学作用及化学演化的学科。由于微量元素在岩石和矿物中的含量甚微,其地球化学性质独特,在地质地球化学过程中它们的浓度可发生明显的变化,因而可作为地质地球化学过程的“指示剂”、“示踪剂”或“探途元素”(赵振华, 1980; 1992)。在整个地球化学领域中,微量元素已经成为必不可少的组成部分。

新康猫金矿床中产出有大量与金矿化密切相关的热液成因石英、方解石、黄铁矿等矿物,该矿床中这些矿物的微量元素和稀土元素地球化学特征对于成矿来源和成矿环境的判断有一定的利用价值。本节通过对该矿床不同类型岩石、矿石、蚀变围岩和热液脉体中石英、方解石、黄铁矿等矿物的微量元素的地球化学特征的系统研究和对比,对研究流体来源及演化有一定的帮助。

因此本节按照围岩、矿石、矿物的顺序进行分析。

4.1 围岩中的微量元素

列出围岩中的微量元素含量，并对其进行 NASC 标准化（沉积岩标准化蛛网图一般都蚕蛹 NASC 即北美页岩标准）

表 4-1 围岩中的微量元素含量（10⁻⁶）

野外编号	岩性	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Cs	Ba	Zr	Hf	Ta	Th	U	As	Sb	Ag	Au	W
ZK601H74	板岩	8.47	48	8.7	16	35	65	56	4.4	388	272	8.7	0.65	11.03	2.2	8.7	1.9	0.3	34	2.6
ZK201H141	板岩	16.93	85	15.6	<6	<20	130	152	12.3	530	29	5.1	0.3	14.29	2.7	28.4	0.5	4.4	2.5	2.5
ZK201H142	板岩	14.63	65	13.6	66	23	127	84	11.6	490	44	4.7	0.65	12.37	2.4	32.6	4.3	0.3	32.5	9
ZK201H144	板岩	17.74	76	17.5	<6	29	130	40	11.2	502	38	4.2	0.84	12.94	2.5	38.2	3.7	0.4	15.2	17
ZK1001H77	石英砂岩	16.16	76	12.7	76	24	151	<40	14.8	540	125	5.1	0.33	13.04	2.6	264.4	5.6	4.1	10.7	5.8
ZK1001H80	石英砂岩	8.32	50	8.9	<6	107	57	<40	5.4	279	214	6.8	0.76	9.12	1.6	38.3	2.8	0.8	5.9	<0.5
ZK1001H81	石英砂岩	9.48	50	7.5	25	58	69	42	6.8	310	228	6.7	0.9	10.95	1.8	46.9	2.2	0.7	12.6	<0.5
ZK1001H82	石英砂岩	9	54	8.6	13	20	78	67	7.4	288	48	6.5	0.69	10.23	1.6	54.2	1.7	0.8	64.4	3
ZK101-b6	石英砂岩	9.36	50	11.3	<6	25	78	55	8.9	280	111	6.1	0.76	10.02	2.7	17.4	1.7	0.4	27.3	2.1
BT001-B1	石英砂岩	10.86	60	8.4	39	28	79	<40(23)	6.9	296	209	8	1.38	9.67	2.7	18.8	2.8	0.2	41.2	3.9

注：Au 单位为 10⁻⁹
（本次所有有关新康猫的微量和稀土元素的数据均来自成都理工大学核分析实验室。）

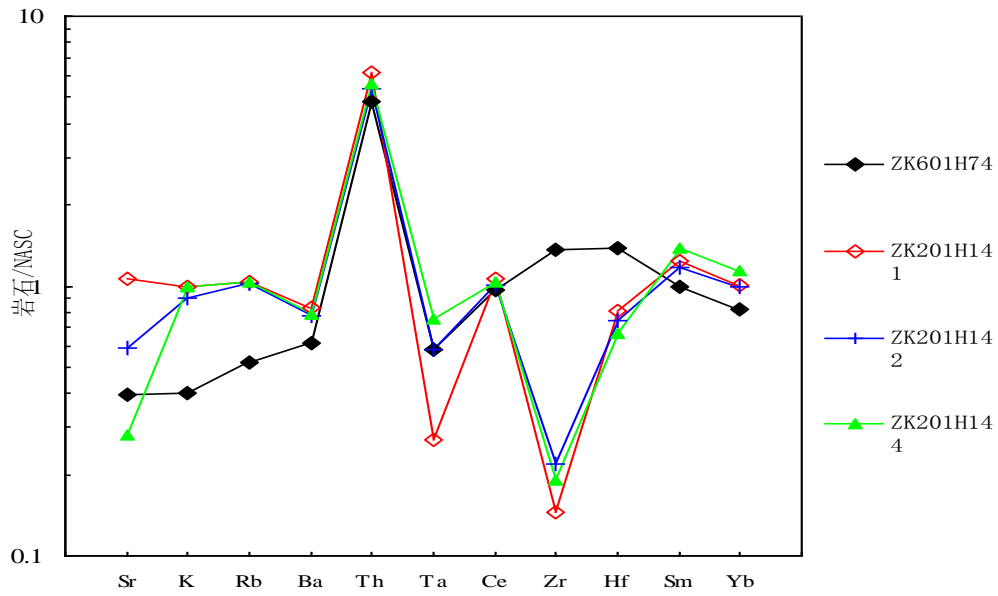


图 4-1 板岩中微量元素 NASC 标准化蛛网图

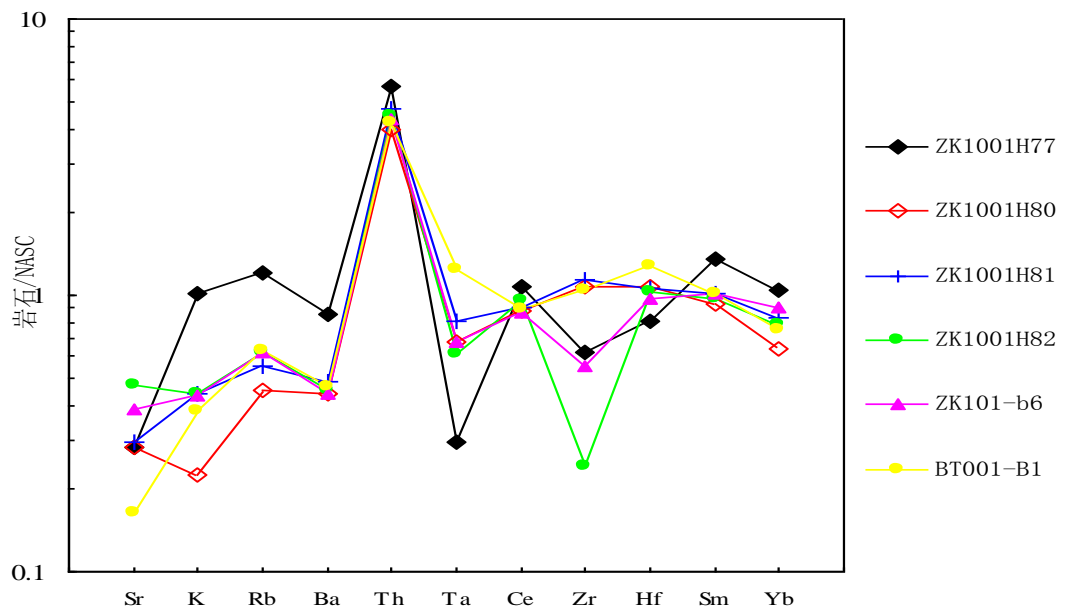


图 4-2 石英砂岩中微量元素 NASC 标准化蛛网图

从表 4-1、图 4-1 和图 4-2 可以看出，板岩和石英砂岩中的主要成矿元素 Au 含量比克拉克值高出许多倍（克拉克值 $\text{Au } 0.004 \times 10^{-10}$ ），而且普遍含量较高，平均值 24.63×10^{-9} ，为区域背景值（侏倭组 5.35×10^{-9} ，新都桥组 6.32×10^{-9} ）的 4 倍左右，表明整个矿区范围内地层中的成矿元素达到了浓集，而赋矿的围岩中的成矿元素又相对背景出现了一定得富集。板岩和石英砂岩中的微量元素 NASC 标准化蛛网图大体上一致，整体轴线成水平，出现 Th 的明显富集和 Ta 的亏损。

但是二者也还是有区别:板岩中 Zr 普遍亏损, 而石英砂岩中的 Zr 则亏损程度很不整齐。

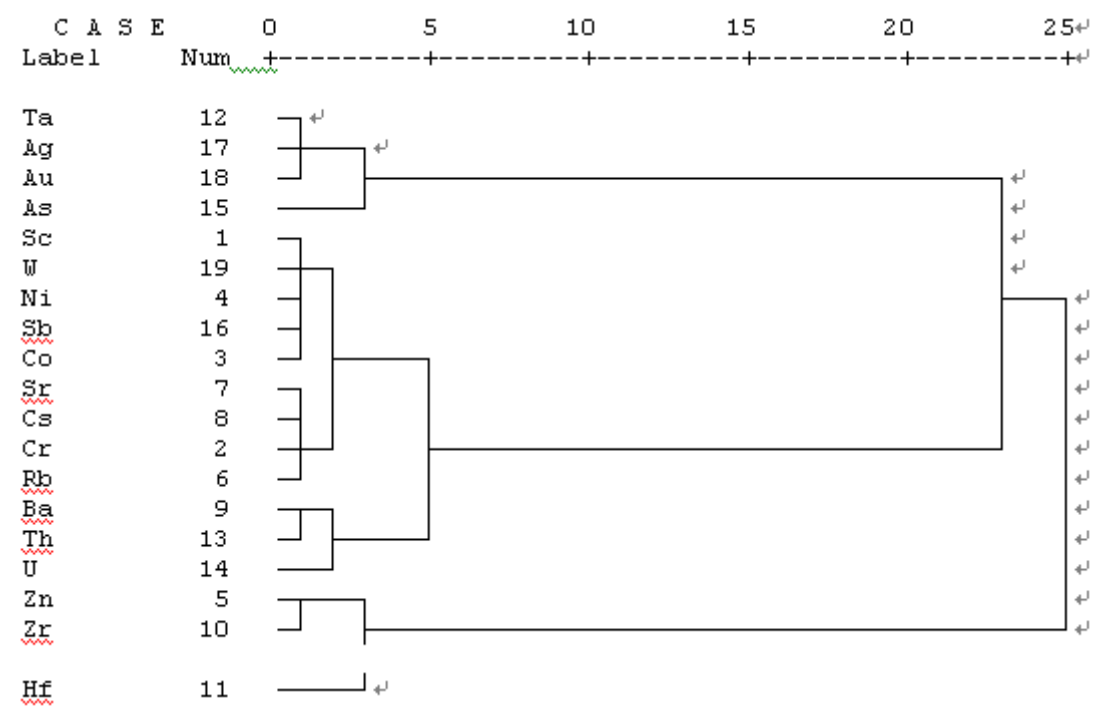


图 4-3 围岩中微量元素 R 型聚类分析图

从表 4-2、图 4-3 中可以看出, 围岩中的 Au 与 As、Ag 正相关性相当好, 相关系数 As 为 0.83, Ag 接近了 1, 此外与 Ta 的相关系数也很高。

表 4-2 围岩中的微量元素相关系数

Case	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Cs	Ba	Zr	Hf	Ta	Th	U	As	Sb	Ag	Au	W
Sc	1.00																		
Cr	0.96	1.00																	
Co	1.00	0.93	1.00																
Ni	0.99	0.92	1.00	1.00															
Zn	-0.40	-0.64	-0.31	-0.28	1.00														
Rb	0.99	0.99	0.98	0.97	-0.51	1.00													
Sr	0.95	1.00	0.91	0.90	-0.67	0.98	1.00												
Cs	0.94	1.00	0.90	0.89	-0.69	0.97	1.00	1.00											
Ba	0.83	0.64	0.88	0.89	0.18	0.75	0.61	0.59	1.00										
Zr	-0.58	-0.78	-0.50	-0.47	0.98	-0.67	-0.81	-0.82	-0.02	1.00									
Hf	-0.88	-0.98	-0.83	-0.81	0.79	-0.93	-0.98	-0.99	-0.45	0.90	1.00								
Ta	-0.43	-0.17	-0.52	-0.54	-0.66	-0.32	-0.12	-0.10	-0.86	-0.49	-0.06	1.00							
Th	0.90	0.74	0.94	0.95	0.05	0.84	0.71	0.69	0.99	-0.16	-0.57	-0.79	1.00						
U	0.64	0.40	0.71	0.73	0.45	0.54	0.36	0.33	0.96	0.26	-0.18	-0.97	0.91	1.00					
As	0.11	0.38	0.01	-0.02	-0.95	0.23	0.42	0.44	-0.47	-0.87	-0.57	0.85	-0.34	-0.70	1.00				
Sb	0.99	0.91	1.00	1.00	-0.26	0.96	0.89	0.88	0.90	-0.45	-0.80	-0.56	0.95	0.74	-0.04	1.00			
Ag	-0.43	-0.17	-0.52	-0.54	-0.66	-0.32	-0.12	-0.10	-0.86	-0.49	-0.06	1.00	-0.79	-0.97	0.85	-0.56	1.00		
Au	-0.47	-0.21	-0.55	-0.58	-0.62	-0.36	-0.16	-0.14	-0.88	-0.45	-0.02	1.00	-0.81	-0.98	0.83	-0.59	1.00	1.00	
W	1.00	0.96	1.00	0.99	-0.38	0.99	0.94	0.93	0.84	-0.56	-0.87	-0.45	0.91	0.65	0.09	0.99	-0.45	-0.49	1.00

4.2 矿石中的微量元素

对矿石中的微量元素进行同样的 NASC 标准化:

表 4-3 含矿（蚀变）岩石的微量元素含量 (10^{-6})

编号	ZK1201H4	ZK1201H5	ZK1201H6	ZK1201H7	ZK302-3	ZK1203H48	ZK1203H50
岩性	褐铁矿化硅化碎裂岩	褐铁矿化硅化碎裂岩	褐铁矿化硅化碎裂岩	褐铁矿化硅化碎裂岩	黄铁矿化硅化砂岩	黄铁矿化硅化碎裂岩	黄铁矿化硅化碎裂岩
Sc	8.8	9.74	10.83	14.32	11.09	8.43	3.04
Cr	48	58	71	64	67	45	25
Co	18	20.7	15.9	26.1	12.6	20.1	47.3
Ni	117	64	75	157	37	22	6
Zn	179	91	119	27	40	91	77
Rb	74	71	98	151	64	54	27
Sr	<40(33)	<40	64	216	297	198	117
Cs	10.7	10.8	14.5	17.2	4.5	5.5	2.1
Ba	284	261	413	324	215	215	152
Zr	249	291	204	69	240	257	18
Hf	3.9	4.3	5.2	2.3	7.2	0.8	0.1
Ta	0.72	0.36	0.27	0.66	0.76	0.54	0.12
Th	9.77	10.12	10.78	11.24	11.94	7.34	3.26
U	1.4	2.4	2.1	2.1	2.9	1.2	0.4
As	2312	3402	3007	12192	497	509.6	504.5
Sb	7	6	7.3	11.9	2.4	5	3.4
Ag	40	32.7	53.3	123.5	4.3	9.6	7.5
Au	1116	1152	1895	9579	1315	27.7	3008
W	65.5	155	44.1	175	2.8	100.7	505
编号	ZK1203H54	ZK1203H55	ZK1203H56	ZK1203H55-1	ZK1201B1-5	ZK302-4	ZK502-2
岩性	黄铁矿化硅化碎裂岩	黄铁矿化硅化碎裂岩	黄铁矿化硅化碎裂岩	黄铁矿化碳质板岩	黄铁矿化碳质板岩	黄铁矿化碳质板岩	黄铁矿化碳质板岩
Sc	9.32	15.48	16.61	16.6	18.6	20.18	15.93
Cr	48	72	82	78	119	140	75
Co	26.8	19.6	18.6	16.6	24	32.8	16.1
Ni	48	<6	73	28	61	59	29
Zn	70	74	138	24	21	31	58
Rb	84	140	150	178	220	182	120
Sr	218	233	40	<40(22)	<40(25)	97	54
Cs	8	16.3	16.8	17.4	21.5	13.4	68.8
Ba	242	502	480	448	718	700	357

续表 4-3 含矿（蚀变）岩石的微量元素含量（ 10^{-6} ）

编号	ZK1203H54	ZK1203H55	ZK1203H56	ZK1203H55-1	ZK1201B1-5	ZK302-4	ZK502-2
岩性	黄铁矿化 硅化碎裂 岩	黄铁矿化 硅化碎裂 岩	黄铁矿化 硅化碎裂 岩	黄铁矿化碳 质板岩	黄铁矿化碳 质板岩	黄铁矿 化碳质 板岩	黄铁矿 化碳质 板岩
Zr	141	143	118	137	458	211	77
Hf	1.3	4.1	4	6.8	7.4	11.5	6.9
Ta	1.05	0.85	1.7	1.51	0.4	1.32	1.29
Th	7.78	13.14	13.82	14.63	18.43	23.77	13.46
U	1.8	2.7	2	2.9	4.6	5.1	3.3
As	397.9	709.5	515.3	925.8	5845	1183	31.3
Sb	9.1	9.3	6.1	7.8	10.3	5	4.4
Ag	6.9	13.2	8.9	8.6	69.2	9.6	0.5
Au	1785	5240	5525	15467	1724	1779	5.6
W	148.2	46.3	29.2	36.8	26	23.9	1.8

注：Au 单位为 10^{-9}

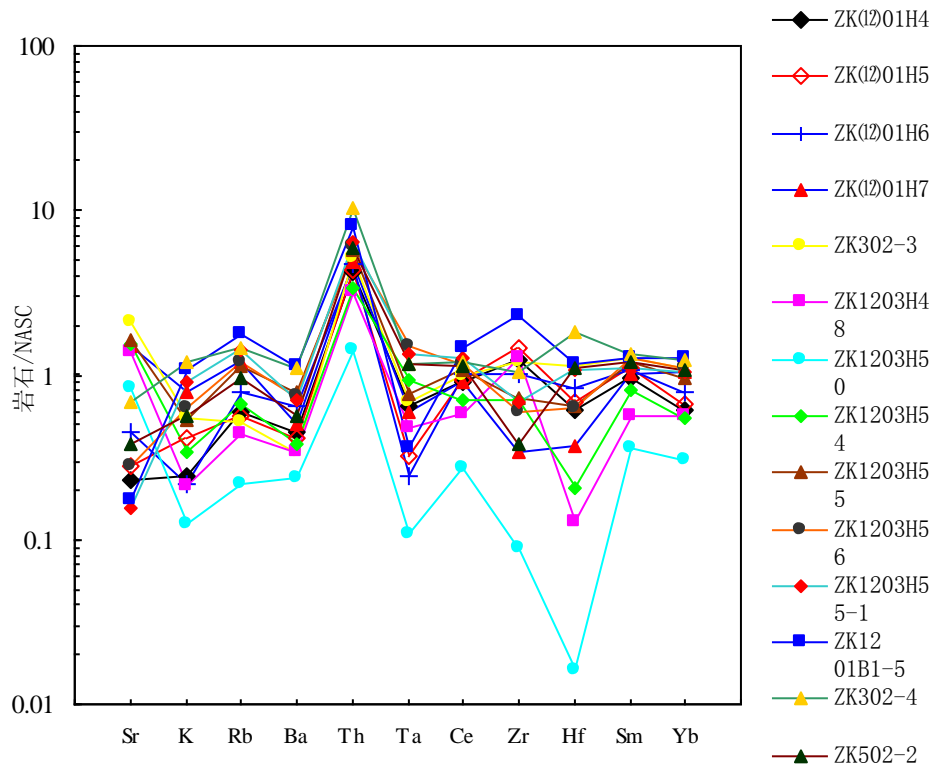


图 4-4 矿石中微量元素 NASC 标准化蛛网图

从表 4-3、图 4-4 中可以看出，矿石中的 Au 元素含量变化范围很大，从 5.6×10^{-9} – 15467×10^{-9} 。与围岩相比，矿石中微量元素 NASC 标准化蛛网图的曲线规律有大致相似，整体轴线成水平，也是明显的 Th 富集，Ta 亏损。但是矿石中 Hf 明显出现了更加明显的亏损现象。

结合表 4-4、图 4-5，可以发现矿石中的 Au 与 Ni、As、Sb、Ag 正相关性很好，分别达到了 0.84、0.83、0.68、0.79，将其与围岩中的 Au 与其他微量元素的相关性做比较，不难看出，金矿中 Au 的常规伴生元素 As 和 Ag 不论是在围岩还是矿石中，它们之间的正相关性都很好，它们在物质迁移过程中也就一起迁移的。再由于围岩和矿石的微量元素蛛网图也相似性也较高，并且围岩本身就出现了金元素的原始富集，所以综合这三点笔者推测该矿床的成矿物质可能部分来源于围岩。

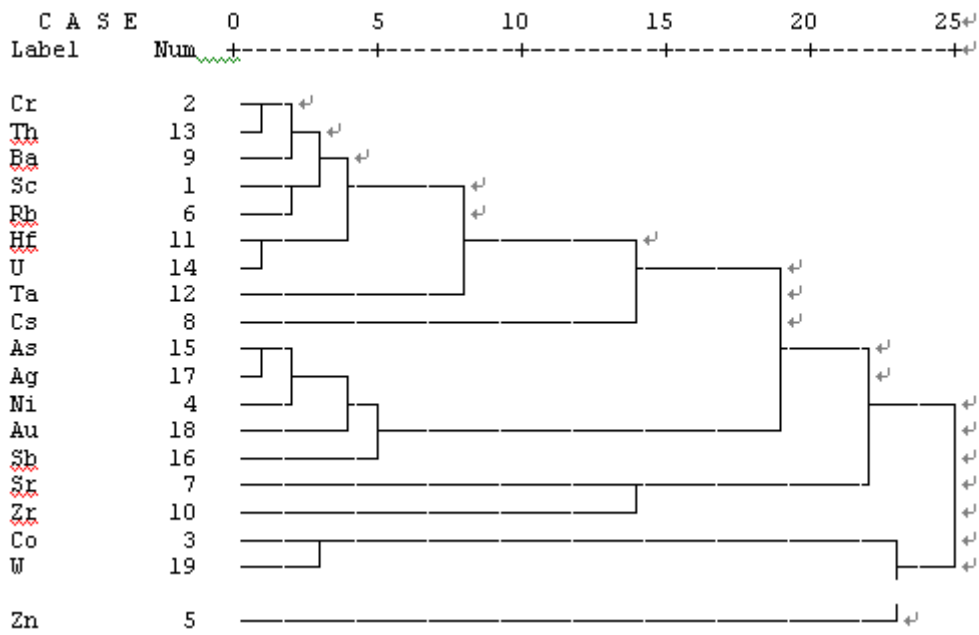


图 4-5 矿石中微量元素 R 型聚类分析图

表 4-4 矿石中的微量元素相关系数

Case	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Cs	Ba	Zr	Hf	Ta	Th	U	As	Sb	Ag	Au	W
Sc	1.00																		
Cr	0.90	1.00																	
Co	-0.36	-0.18	1.00																
Ni	0.45	0.27	-0.17	1.00															
Zn	-0.21	-0.24	-0.20	-0.19	1.00														
Rb	0.94	0.84	-0.17	0.64	-0.18	1.00													
Sr	-0.34	-0.33	-0.09	0.07	-0.53	-0.38	1.00												
Cs	0.46	0.23	-0.34	0.00	-0.10	0.36	-0.48	1.00											
Ba	0.86	0.95	-0.07	0.33	-0.01	0.88	-0.55	0.22	1.00										
Zr	0.16	0.34	-0.53	-0.14	0.04	-0.02	0.32	-0.33	0.20	1.00									
Hf	0.77	0.90	-0.29	0.05	-0.34	0.61	-0.23	0.33	0.76	0.38	1.00								
Ta	0.79	0.61	-0.31	0.11	0.03	0.69	-0.30	0.43	0.60	0.02	0.48	1.00							
Th	0.93	0.99	-0.22	0.28	-0.30	0.85	-0.28	0.28	0.92	0.32	0.91	0.65	1.00						
U	0.85	0.93	-0.25	0.16	-0.48	0.72	-0.15	0.37	0.79	0.34	0.95	0.58	0.95	1.00					
As	0.16	0.00	0.04	0.90	-0.36	0.37	0.23	-0.04	0.04	-0.27	-0.16	-0.23	0.02	-0.04	1.00				
Sb	0.16	-0.03	-0.01	0.83	-0.06	0.41	0.09	-0.03	0.10	-0.24	-0.31	0.02	-0.04	-0.11	0.77	1.00			
Ag	0.11	-0.03	-0.01	0.90	-0.23	0.33	0.16	-0.06	0.03	-0.23	-0.18	-0.30	-0.03	-0.10	0.98	0.79	1.00		
Au	0.18	-0.01	0.19	0.84	-0.10	0.42	0.05	-0.17	0.09	-0.49	-0.25	0.04	0.00	-0.16	0.83	0.68	0.79	1.00	
W	-0.73	-0.64	0.85	-0.20	-0.02	-0.54	0.06	-0.38	-0.52	-0.62	-0.66	-0.60	-0.67	-0.67	0.11	0.01	0.09	0.23	1.00

4.3 矿物中的微量元素

4.3.1 黄铁矿中的标型特征讨论

表 4-5 黄铁矿中 Co、Ni 值 (单位 10^{-6} , 除比值)

野外编号	样品名称	Co	Ni	Co/Ni
ZK1203H55-1	粗粒黄铁矿	98.4	434	0.226728111
ZK1201B1-2	细粒黄铁矿	69	5	13.8
ZK1203H49-1	细粒黄铁矿	152.5	420	0.363095238
ZK1203H51-3	细粒黄铁矿	120.4	474	0.254008439
ZK1203H55-2	细粒黄铁矿	80.9	86	0.940697674

在不同物理-化学条件下产生的黄铁矿，存在着运用现代研究方法可以查明的微小差异。当人们用近代手段揭示出在自然界广泛产出的黄铁矿在成分、构造和特性方面这种微小差异时，就可以据之分析和推测该黄铁矿的形成物理-化学条件和地质条件，帮助解决产出这种黄铁矿的矿床的成因问题。由于许多成因类型的矿床中都有黄铁矿产出，所以对黄铁矿的标型特征的分析具有重要的意义。

黄铁矿中的钴、镍含量标型意义比较突出^[31]。有文献报道，近代沉积和前寒武纪同生沉积矿床中黄铁矿多数含钴几十个 ppm 左右，镍的含量大于钴的含量；与侵入、喷出杂岩系有关的矿床中黄铁矿的钴、镍含量都很高（1000ppm 以上）；尤其是岩浆矿床及与火山作用有关的矿床钴的含量特别高^[32]；沉积变质型矿床中黄铁矿的含钴量是 2000-3550ppm；而受岩浆热液影响的黄铁矿的含钴量大于 100ppm，且钴的含量大于镍的含量。依据表 8 可以看出，黄铁矿中钴含量在 98.4-152.5ppm 之间，而大多数黄铁矿中 Co 含量小于 Ni，但也有个别黄铁矿中 Co 含量大于 Ni。说明该矿床成矿围岩地层是主要物源，但同时也受岩浆热液的影响。

Co/Ni 值：黄铁矿中的杂质元素 Co、Ni 等呈类质同象取代 Fe，而 Co 在周期表中的位置离 Fe 更近，所以 Co 较 Ni 更容易进入黄铁矿晶格，因此黄铁矿中的 Co/Ni 比值对成矿条件具有一定的指示意义。一般来说，Co/Ni 比值越大，矿物的形成温度越高^[33]。新康猫金矿黄铁矿中 Co/Ni 比值多在 1 以下，只有个别大于 10，说明该矿床属于中低温矿床。

4.3.2 石英中的微量元素讨论

石英是金矿中的重要热液矿物,所以对其研究可以对寻找物源和判断环境有一定帮助。因此首先对石英中粗、细粒石英的微量元素差别进行对比分析,探讨两种石英之间的差异。

表 4-6 石英的微量元素含量 (10^{-6})

编号	TC3601-2	ZK1201B1-1	ZK1203H49	ZK1203H51-2	BT1201-3	ZK302-2	ZK502-1
名称	粗粒石英	粗粒石英	粗粒石英	粗粒石英	粗粒石英	石英	石英
Sc	0.01	1.76	0.08	0.12	0.01	0.21	0.21
Cr	1	3	2	2	1	8	<8
Co	0.1	0.1	0.1	0.08	0.1	0.4	0.2
Ni	6	5	4	4	3	<6	<6
Zn	47	33	55	39	47	34	27
Rb	1	2	1	1	1	<5(2)	<5(3)
Sr	30	447	30	30	30	<40	<40
Cs	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2
Ba	25	22	22	22	13	<50(12)	81
Zr	5	15	5	5	9	11	<10
Hf	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.1	<0.1
Ta	0.008	0.12	0.06	0.03	0.01	0.3	<0.01(0.003)
Th	0.01	0.09	0.008	0.01	0.04	0.1	0.11
U	0.02	0.02	0.03	0.03	0.1	0.2	0.1
As	1.5	3.3	2.9	1.8	3.3	2.8	1.2
Sb	9.1	4.1	4.6	1.2	32.2	2.3	1
Ag	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	<0.1(0.03)	<0.1
Au	1.5	0.5	6.5	3.3	3.5	6.3	0.1
W	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	<0.5	<0.5
编号	ZK104-1	ZK802-1	BT001-1	BT001-2	ZK1203H51-1	ZK1203H53	ZK1203H56
名称	石英	石英	细粒石英	细粒石英	细粒石英	细粒石英	细粒石英
Sc	0.04	0.05	0.09	0.06	8.58	2.24	3.59
Cr	<8(3)	<8	2	2	5	2	2
Co	0.2	0.3	0.2	0.04	0.6	0.3	0.2
Ni	<6	6	3	23	12	4	4
Zn	45	50	44	43	60	40	41
Rb	<5	<5(2)	2	2	7	2	2
Sr	<40(18)	<40	35	42	712	135	641
Cs	0.2	0.3	0.4	0.1	0.7	0.2	0.3
Ba	<50	<50	19	25	22	22	23
Zr	<10(3)	19	16	4	25	23	4

续表 4-6 石英的微量元素含量 (10⁻⁶)

编号	ZK104-1	ZK802-1	BT001-1	BT001-2	ZK1203H51-1	ZK1203H53	ZK1203H56
名称	石英	石英	细粒石英	细粒石英	细粒石英	细粒石英	细粒石英
Hf	0.1	<0.1	0.01	0.03	0.3	0.04	0.1
Ta	0.02	0.07	0.06	0.007	0.27	0.06	0.02
Th	0.02	0.03	0.27	0.09	0.8	0.15	0.2
U	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
As	18.4	24.7	73.2	64.5	15.2	48.5	6
Sb	1.3	4.9	9.8	51.2	2.8	4.4	5.4
Ag	0.2	0.2	0.8	0.7	0.03	0.5	0.1
Au	5.2	102	32.9	42.7	67	41.5	5.1
W	<0.5	<0.5	0.4	0.4	1	0.4	0.4

注：Au 单位为 10⁻⁹

石英是新康猫金矿床重要的热液矿物，其中含有丰富的成因信息，通过对石英的分析可以判断形成的环境。从表 4-3 中可以看出，细粒石英中微量元素的总量普遍高于粗粒石英，而且其中尤其是 Sr、As 和 Au 的含量细粒石英明显高于粗粒石英。说明两种石英可能不是同一时期形成，而且细粒石英很可能随深部热液上升，与金矿形成有密切关系。大量研究表明，成矿流体携带成矿物质运移过程中，一旦条件突然改变，即地球化学障，可能导致流体的性质突然改变，进而导致流体卸载物质沉淀。因此笔者理解，粗粒石英是在金矿形成前赋矿地层温度较稳定的位置，缓慢结晶形成；而细粒石英则是后期随含矿热液上升到到利于沉积的部位导致温度和容积的突变从而迅速结晶，在金矿形成的同时细粒石英也包含了 Au 与其伴生元素。图 4-5 也很好的反映了粗粒石英和细粒石英相关性很差，不是同一时期形成。

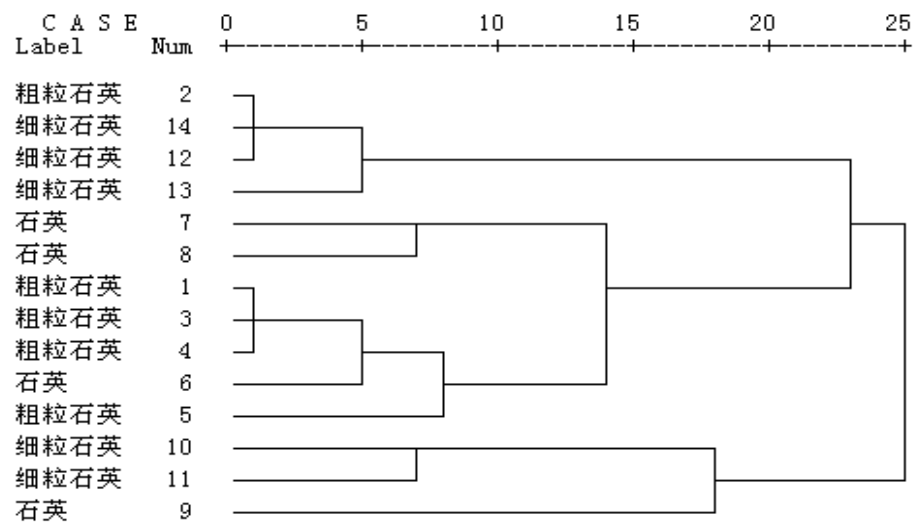


图 4-5 石英的 Q 型聚类示意图

接下来，针对石英中各微量元素之间的聚类，探讨成矿元素与其他元素之间的相关程度。处理结果如下：

表 4-7 矿石中的微量元素相关系数

Case	Sc	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Cs	Ba	Zr	Hf	Ta	Th	U	As	Sb	Ag	Au	W
Sc	1																		
Cr	0.87	1																	
Co	0.92	0.79	1																
Ni	0.16	0.29	0.05	1															
Zn	0.43	0.36	0.54	0.17	1														
Rb	0.93	0.92	0.91	0.36	0.53	1													
Sr	0.88	0.74	0.66	0.06	0.12	0.72	1												
Cs	0.81	0.81	0.87	-0	0.64	0.85	0.62	1											
Ba	0.14	0.2	0.01	0.46	-0.1	0.12	0.18	-0.1	1										
Zr	0.63	0.65	0.8	-0.1	0.17	0.69	0.4	0.62	-0.17	1									
Hf	0.96	0.83	0.9	0.29	0.59	0.95	0.77	0.83	0.15	0.53	1								
Ta	0.85	0.96	0.85	0.12	0.47	0.91	0.68	0.85	0.05	0.76	0.82	1							
Th	0.91	0.86	0.94	0.24	0.54	0.98	0.7	0.92	0.02	0.7	0.93	0.87	1						
U	0.65	0.46	0.79	0.22	0.31	0.67	0.38	0.54	-0.14	0.73	0.63	0.47	0.7	1					
As	-0.12	0	0.08	0.41	-0.1	0.1	-0.3	0.03	0.07	0.3	-0.1	-0.1	0.16	0.45	1				
Sb	-0.35	-0.3	-0.39	0.68	-0	-0.17	-0.4	-0.4	-0.14	-0.3	-0.2	-0.4	-0.2	0.05	0.41	1			
Ag	-0.24	-0.1	-0.05	0.36	-0.2	-0.04	-0.3	-0.1	0.08	0.19	-0.2	-0.2	0.04	0.35	0.99	0.43	1		
Au	0.61	0.64	0.74	0.56	0.44	0.79	0.28	0.6	0.15	0.68	0.67	0.61	0.78	0.83	0.62	0.15	0.502	1	
W	0.91	0.86	0.93	0.36	0.62	0.99	0.66	0.86	0.1	0.64	0.97	0.86	0.98	0.7	0.1	-0.2	-0.03	0.81	1

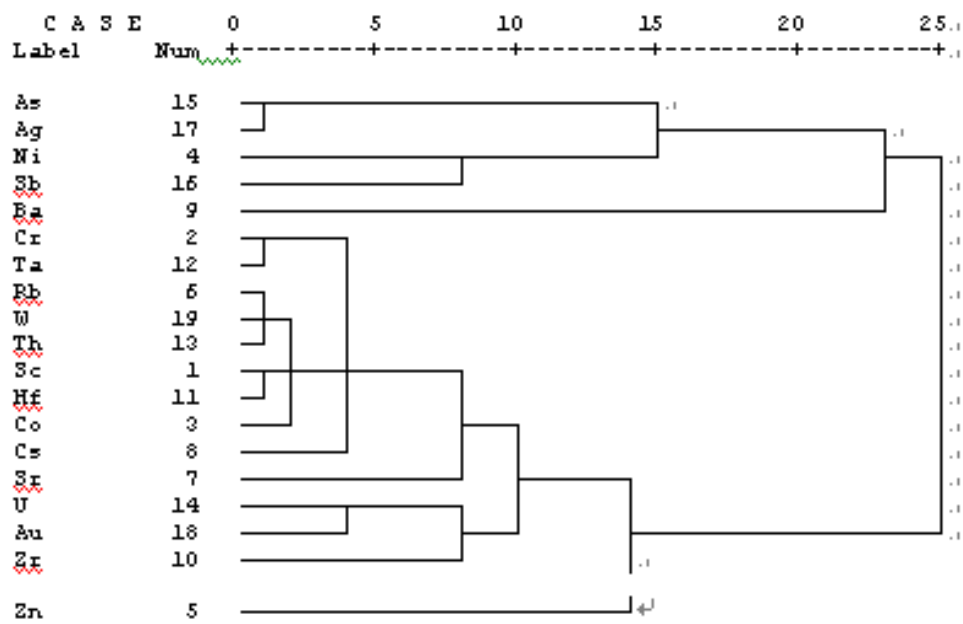


图 4-6 石英的 R 型聚类示意图

从表 4-7 和图 4-6 中可以看出，石英中的主要成矿元素 Au 与深部元素 Co、Rb、Th、U、W 正相关性较好，其中与 U 和 W 的相关系数达到了 0.83 和 0.81，暗示金成矿可能与深部流体有一定关系。Au 与它们的联系也可以从图 4-7 和图 4-8 中明显的线性相关性看出。

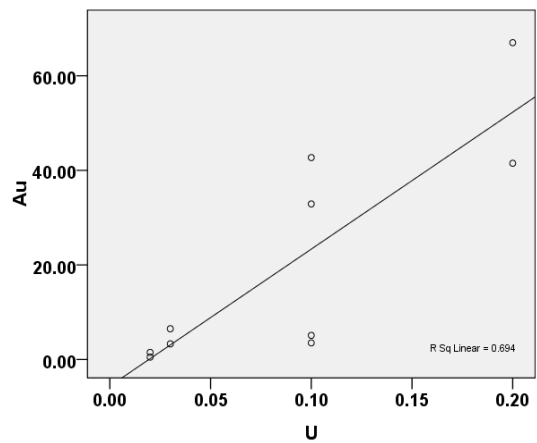


图 4-7 石英 Au—U 线性关系图

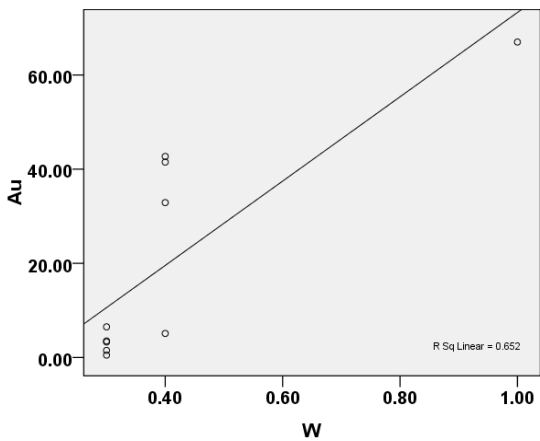


图 4-8 石英 Au—W 线性关系图

第5章 稀土元素地球化学特征

稀土元素（以下均采用英文缩写 REE），从镧到镥（原子序数从 57 到 71），是元素周期表第三主族中的元素，它们有着极其相似的化学性质和物理性质。这样的相似性是由它们电子构型的性质决定的，它们有特别稳定的+3 价氧化态，而且在配位数一定的条件下，随着原子序数的增加，离子半径轻微而稳定的减小。因此在地质作用和造岩过程中它们会作为一个整体运移。尽管它们有着相似性，但是由于原子序数增加，各稀土元素之间由于晶体化学因素、碱性差异、电价的差别、元素的不同络合作用，以及稀土元素被吸附的能力等原因，因此它们之间存在着原子结构、晶体化学性质等方面的差异，从而导致了稀土元素在自然界中的分离并与其存在的地质环境、物理和化学条件有联系。因此，人们就可能通过对不同地质体中 REE 组分（配分）的特征研究来解释、追索该地质体形成过程中的地质、物理、化学和环境条件，利用 REE 作为成矿作用地球化学指示剂。

一般将稀土元素分成两类：轻稀土元素（LREE），也称铈族元素，包括 La、Ce、Pr、Nd、Sm 和 Eu；重稀土元素（HREE），或称钐族稀土，包括 Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu 和 Y。

5.1 新康猫矿床稀土元素配分模式

稀土元素的丰度值经球粒陨石标准化所得的一组数据投影于按原子序数增大依次排列的对数坐标图上，再将各投影点连接成线，这种不同形状的曲线称为稀土配分形式^[34]。稀土配分形式广泛地应用于岩石学研究中，它不仅具有岩类学的意义，而且可用来讨论岩石成因^[35]。研究表明，即使岩石遭受变质作用，稀土元素的绝对丰度发生改变，但稀土元素分配的形式却没有改变，这为变质岩的原岩研究提供了方便^[36, 37]。

在探讨成矿物质来源时，将不同地质体稀土特征与热液矿物的稀土特征进行对比，根据它们之间的相似性来判断成矿物质的可能来源^[38,39]。然而稀土元素在演化过程中会发生分馏并经受一定的后期改造，所以成矿物质来源相同的地质体稀土元素分布曲线特征总会存在一定差异，但是在一定范围内并不影响对成矿物质来源的判断^[40]。

5.2 围岩中的稀土元素

对围岩中的稀土元素进行分析：

表 5-1 容矿围岩中的稀土元素含量 (10^{-6})

野外编号	ZK601H74	ZK201H141	ZK201H142	ZK201H144	ZK1001H77	ZK1001H80	ZK1001H81	ZK1001H82	ZK101-b6	BT001-B1
岩性	板岩	板岩	板岩	板岩	石英砂岩	石英砂岩	石英砂岩	石英砂岩	石英砂岩	石英砂岩
La	36.45	40.27	37.4	39.61	42.22	31.48	32.39	34.61	32.77	34.77
Ce	64.71	70.72	66.83	69.25	71.23	58.22	60.29	64.17	57.42	59.11
Pr	7.64	7.84	8.13	9.58	9.06	6.09	7.91	6.53	6.66	7.05
Nd	30.67	29.54	33.58	44.98	39.17	21.63	35.24	22.58	26.23	28.56
Sm	5.52	6.9	6.51	7.7	7.58	5.18	5.68	5.47	5.64	5.64
Eu	0.7	0.51	0.79	0.83	0.85	0.73	0.76	0.62	0.69	0.58
Gd	6.31	6.12	6.14	9.38	6.73	4.88	5.86	6.44	5.11	5.83
Tb	1.02	1.03	1.03	1.5	1.12	0.79	0.96	1.03	0.87	0.94
Dy	6.12	6.43	6.41	8.9	6.92	4.74	5.83	6.11	5.49	5.62
Ho	1.24	1.36	1.35	1.79	1.45	0.96	1.2	1.23	1.17	1.14
Er	3.14	3.58	3.55	4.48	3.77	2.44	3.08	3.08	3.12	2.87
Tm	0.42	0.5	0.5	0.6	0.52	0.33	0.42	0.41	0.44	0.39
Yb	2.51	3.09	3.05	3.5	3.19	1.95	2.52	2.41	2.76	2.28
Lu	0.33	0.45	0.45	0.52	0.51	0.32	0.35	0.35	0.44	0.32

表 5-2 围岩中稀土元素特征参数

样品号	样品名	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	$\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$	δEu	δCe	$\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$	$\text{Gd}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$
ZK601H74	板岩	166.78	145.69	21.09	6.91	10.42	0.36	0.90	4.153664095	2.028626806
ZK201H141	板岩	178.34	155.78	22.56	6.91	9.35	0.23	0.92	3.671178121	1.598230686
ZK201H142	板岩	175.72	153.24	22.48	6.82	8.80	0.38	0.90	3.613795154	1.624482562
ZK201H144	板岩	202.62	171.95	30.67	5.61	8.12	0.30	0.84	3.235839966	2.162625483
ZK1001H77	石英砂岩	194.32	170.11	24.21	7.03	9.49	0.36	0.85	3.503659886	1.702436427
ZK1001H80	石英砂岩	139.74	123.33	16.41	7.52	11.58	0.44	0.97	3.822767468	2.019443619
ZK1001H81	石英砂岩	162.49	142.27	20.22	7.04	9.22	0.40	0.90	3.587034303	1.876478519
ZK1001H82	石英砂岩	155.04	133.98	21.06	6.36	10.30	0.32	0.98	3.980037743	2.156330604
ZK101-b6	石英砂岩	148.81	129.41	19.40	6.67	8.52	0.39	0.90	3.654855868	1.494026635
BT001-B1	石英砂岩	155.10	135.71	19.39	7.00	10.94	0.31	0.87	3.877916953	2.063384813

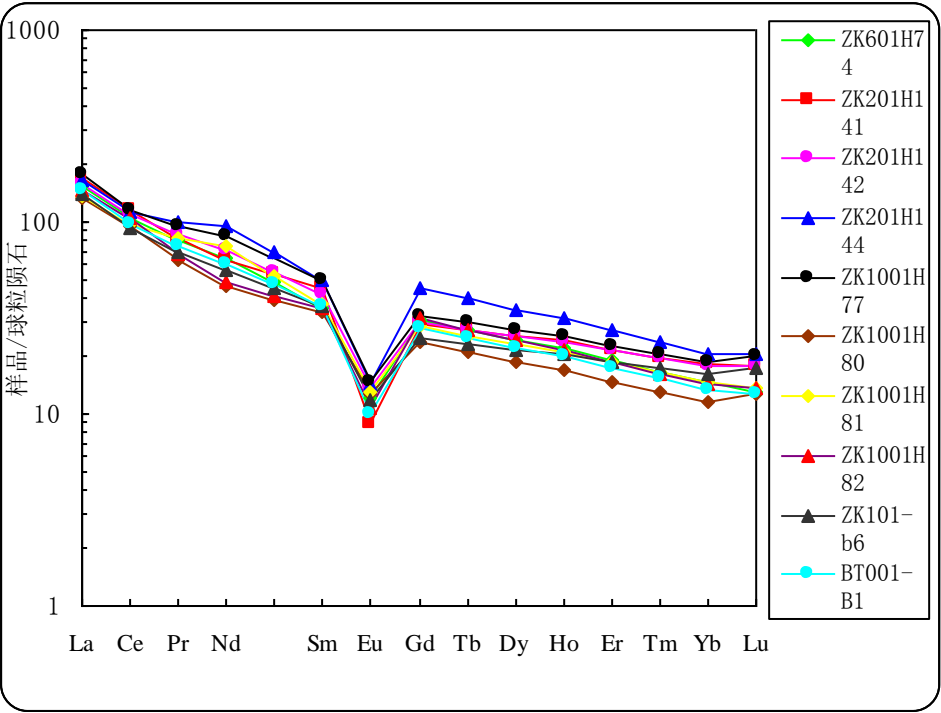


图 5-1 围岩中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

从图 5-1、表 5-1 和表 5-2 中可以看出板岩和石英砂岩中的稀土元素配分模式曲线很相似,大致呈现右倾,趋势较缓。轻稀土富集,重稀土亏损; $LREE/HREE$ (5.61-7.52) 和 $(La/Yb)_N$ (8.12-11.58)表明轻重稀土分馏中等。 Ce 呈现弱负异常, Eu 严重负异常。 La_N/Sm_N 比值反映了 $LREE$ 之间的分馏程度,该值越大, $LREE$ 越富集。 Gb_N/Yb_N 比值则反映了 $HREE$ 之间的分馏程度,比值越小, $HREE$ 富集程度越高^[41]。围岩中 La_N/Sm_N 比值介于 3.2 到 4.1 之间,轻稀土分馏中等; Gb_N/Yb_N 比值介于 1.4 到 2.1 之间,重稀土分馏较低。

其中也存在少量不同,板岩中稀土元素总含量 $166.78—202.62 \times 10^{-6}$,平均为 180.87×10^{-6} ,石英砂岩中的 ΣREE 为 $139.74—194.32 \times 10^{-6}$,平均 159.25×10^{-6} ,对比发现板岩的稀土总量要石英砂岩高。

5.3 岩脉中的稀土元素

以下是对岩脉进行的一些数据处理:

表 5-3 岩脉中的稀土元素含量 (10^{-6})

野外编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
D19-B2	岩脉	36.12	61.4	7.46	30.81	7.6	1.3	7.12	1.12	6.53	1.29	3.18	0.42	2.4	0.33
D19-B1	岩脉 (七棵树)	42.52	72.83	8.67	35.08	7.1	1.4	7.11	1.13	6.67	1.33	3.32	0.44	2.56	0.34

表 5-4 岩脉中稀土元素特征参数

样品号	样品名	ΣREE	$LREE$	$HREE$	$LREE/HREE$	La_N/Yb_N	δEu	δCe
D19-B2	岩脉	167.08	144.69	22.39	6.46	10.80	0.53	0.87
D19-B1	岩脉 (七棵树)	190.50	167.60	22.90	7.32	11.91	0.60	0.88

图 5-2、表 5-3 和表 5-4 可以看出岩脉的稀土配分模式和围岩相似,右倾,富轻稀土; ΣREE 平均 178.79×10^{-6} ,但相对较陡,且 δEu 大于围岩的两种岩性,说明其亏损没有那么强烈。

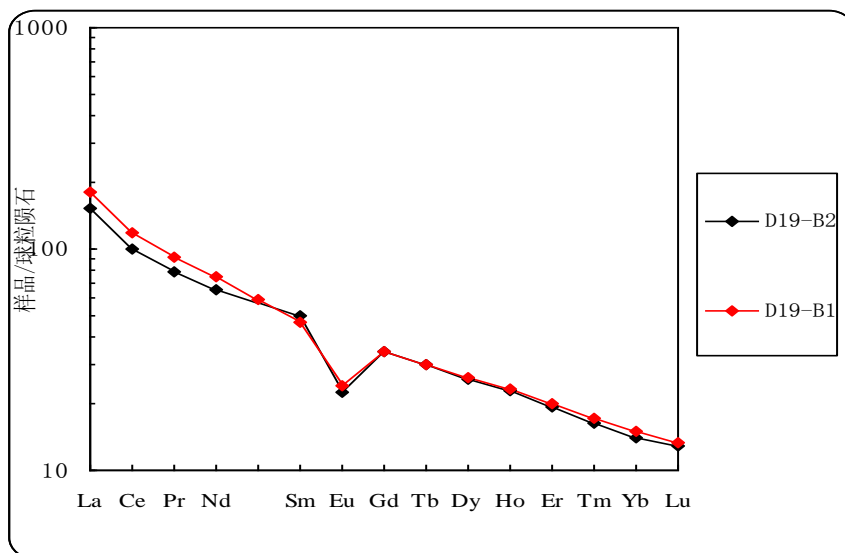


图 5-2 岩脉中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

5.4 矿石中的稀土元素

图 5-3、表 5-5 表 5-6 表明，矿石中的稀土元素配分模式与围岩和岩脉中的稀土分配规律整体有所类似，右倾，Eu 负异常，但是 Ce 不仅出现了负异常，而且还出现正异常。同时可以发现矿石中的 Eu 负异常与岩脉更为接近，反映出成矿物质可能取源于围岩，但也可能有后期深部岩浆提供了动力和能量，即矿石为成矿期的热液活动对原岩进行交代、改造并将矿质留下而形成的产物，因此矿石仍然保留和继承了原岩的稀土元素含量特点，同时也与岩脉有相似之处。

我们还可以发现，矿石中稀土元素含量变化较大，稀土总量从 53.91×10^{-6} 到 253.24×10^{-6} 不等，平均为 165.82×10^{-6} 。具体按稀土可将矿石大致分成 2 类：板岩类和碎裂岩类，其中蚀变板岩类中 ΣREE 为 $189.37\text{—}253.24 \times 10^{-6}$ ，整体稀土含量较高，平均 216.23×10^{-6} ；而碎裂岩类的 ΣREE 为 $53.91 \times 10^{-6}\text{—}209.58 \times 10^{-6}$ ，平均 145.66×10^{-6} 。两类矿石稀土总量差距较大，而且板岩类的 δEu 和 LREE/HREE 也不一样，说明二者成因存在差异。不难看出，碎裂岩类矿石中有 2 个样品的稀土总量相当低，结合碎裂岩与构造动力有关，而且新康猫的矿体赋存于韧性剪切带内，可能有后期的沿裂隙形成的石英脉对稀土进行了稀释作用。

表 5-5 矿石中的稀土元素含量 (10^{-6})

野外编号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ZK1201H4	褐铁矿化、硅化碎裂岩	30.69	59.69	6.09	21.11	5.32	1.13	4.92	0.79	4.7	0.95	2.39	0.32	1.88	0.3
ZK1201H5	褐铁矿化、硅化碎裂岩	34.37	62.4	8.29	37.41	6.21	0.87	6.73	1.04	5.97	1.16	2.81	0.36	2.05	0.33
ZK1201H6	褐铁矿化、硅化碎裂岩	36.71	67.5	7.62	29.21	6.03	1.07	5.63	0.92	5.58	1.14	2.93	0.4	2.39	0.34
ZK1201H7	褐铁矿化、硅化碎裂岩	38.03	60.89	4.94	13.62	5.66	1.22	5.26	0.91	5.84	1.27	3.44	0.5	3.15	0.42
ZK302-3	黄铁矿化、硅化砂岩	35.27	66.43	8.26	34.94	7.12	1.11	7.67	1.26	7.68	1.58	4.08	0.56	3.36	0.53
ZK1203H48	黄铁矿化、硅化碎裂岩	21.52	39.13	3.43	10.25	3.13	0.83	4.4	0.71	4.25	0.86	2.18	0.29	1.73	0.32
ZK1203H50	黄铁矿化、硅化碎裂岩	10.47	17.9	2.52	12.06	2.03	0.47	2.65	0.42	2.47	0.49	1.22	0.16	0.94	0.11
ZK1203H54	黄铁矿化、硅化碎裂岩	22.89	46.76	5.73	23.85	4.57	0.63	4.42	0.71	4.22	0.85	2.14	0.29	1.68	0.25
ZK1203H55	黄铁矿化、硅化碎裂岩	39.06	71.38	7.8	28.94	6.7	0.8	6.84	1.12	6.8	1.4	3.59	0.49	2.94	0.44
ZK1203H56	黄铁矿化、硅化碎裂岩	41.07	77.41	10.22	45.8	7.18	1.03	7.74	1.27	7.73	1.59	4.09	0.56	3.36	0.53
ZK1203H55-1	黄铁矿化碳质板岩	48.36	83.7	10.26	42.68	6.22	0.89	6.89	1.14	7	1.45	3.77	0.52	3.15	0.47
ZK1201B1-5	黄铁矿化碳质板岩	59.22	96.45	11.92	50.05	7.06	1.15	7.33	1.24	7.78	1.65	4.38	0.62	3.83	0.56
ZK302-4	碳质板岩	51.59	80.07	8.69	32.08	7.5	1	6.23	1.08	6.95	1.51	4.11	0.6	3.78	0.61
ZK502-2	碳质板岩	39.41	74.66	8.59	33.6	6.77	1.09	7.13	1.18	7.24	1.5	3.9	0.54	3.26	0.5

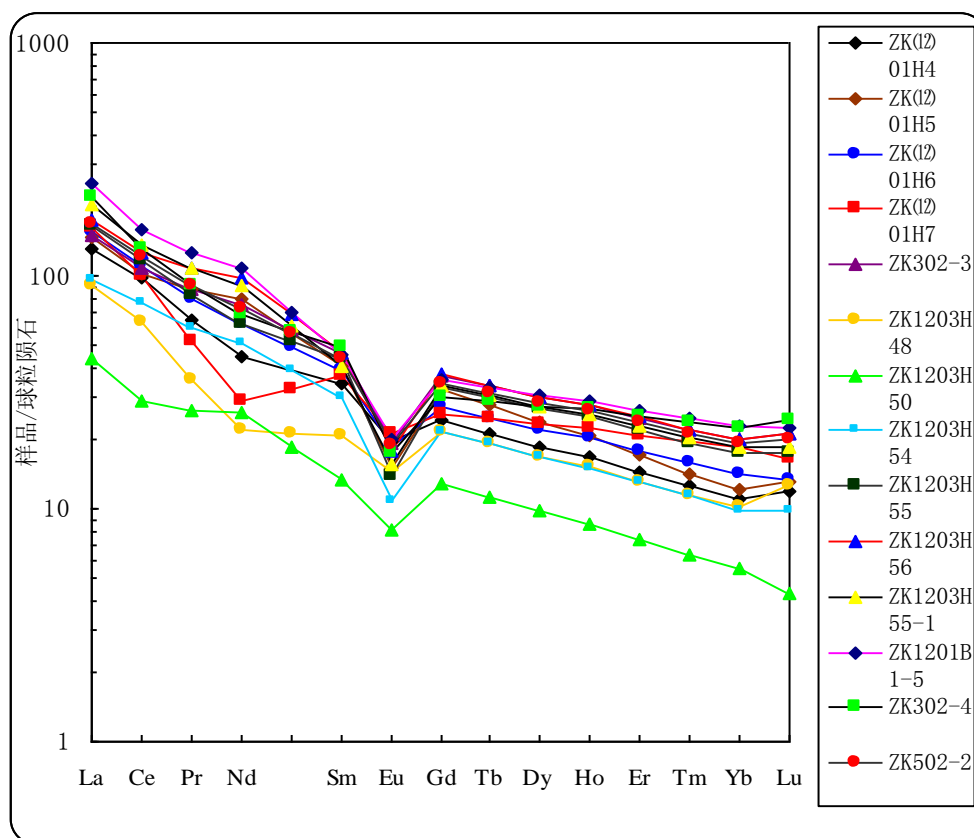


图 5-3 矿石中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

表 5-6 矿石中稀土元素特征参数

样品号	样品名	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	La_N/Yb_N	δEu	δCe
ZK(12)01H4	褐铁矿化、 硅化碎裂岩	140.28	124.03	16.25	7.63	11.71	0.66	1.01
ZK(12)01H5	褐铁矿化、 硅化碎裂岩	170.00	149.55	20.45	7.31	12.03	0.41	0.88
ZK(12)01H6	褐铁矿化、 硅化碎裂岩	167.47	148.14	19.33	7.66	11.02	0.55	0.94
ZK(12)01H7	褐铁矿化、 硅化碎裂岩	145.15	124.36	20.79	5.98	8.66	0.67	0.94
ZK302-3	黄铁矿化、 硅化砂岩	179.85	153.13	26.72	5.73	7.53	0.46	0.92
ZK1203H48	黄铁矿化、 硅化碎裂岩	93.03	78.29	14.74	5.31	8.92	0.68	1.01
ZK1203H50	黄铁矿化、 硅化碎裂岩	53.91	45.45	8.46	5.37	7.99	0.62	0.83
ZK1203H54	黄铁矿化、 硅化碎裂岩	118.99	104.43	14.56	7.17	9.77	0.42	0.97
ZK1203H55	黄铁矿化、 硅化碎裂岩	178.30	154.68	23.62	6.55	9.53	0.36	0.94
ZK1203H56	黄铁矿化、 硅化碎裂岩	209.58	182.71	26.87	6.80	8.77	0.42	0.90
ZK1203H55-1	黄铁矿化 碳质板岩	216.50	192.11	24.39	7.88	11.01	0.41	0.88

续表 5-6 矿石中稀土元素特征参数

样品号	样品名	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	LaN/YbN	δEu	δCe
ZK1201B1-5	黄铁矿化 碳质板岩	253.24	225.85	27.39	8.25	11.09	0.48	0.84
ZK302-4	碳质板岩	205.80	180.93	24.87	7.28	9.79	0.43	0.85
ZK502-2	碳质板岩	189.37	164.12	25.25	6.50	8.67	0.48	0.95

5.5 矿物中的稀土元素

表 5-7 为与金矿化关系密切的石英、方解石和黄铁矿的稀土元素含量，分别对它们进行稀土元素特征的分析，进行综合对比：

表 5-7 矿物中的微量元素含量 (10^{-6})

野外编号	样品名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ZK302-5	方解石	8.63	22.3	2.65	10.75	8.35	1.23	11.52	1.91	11.76	2.45	6.37	0.88	5.35	0.9
ZK302-1	方解石	6.45	20.26	2.08	7.26	6.14	1.51	6.86	1.22	8.05	1.8	5.01	0.74	4.83	0.75
TC3601-2	粗粒石英	0.01	0.05	0.007	0.03	0.01	0.01	0.028	0.005	0.033	0.007	0.021	0.003	0.02	0.002
ZK1201 B1-1	粗粒石英	0.89	2.91	0.547	3.51	1.5	0.65	1.849	0.25	1.25	0.212	0.448	0.05	0.25	0.04
ZK1203 H49	粗粒石英	0.1	0.32	0.059	0.38	0.08	0.05	0.187	0.03	0.177	0.036	0.089	0.012	0.07	0.01
ZK1203 H51-2	粗粒石英	0.11	0.18	0.039	0.29	0.09	0.05	0.115	0.02	0.128	0.028	0.076	0.011	0.07	0.01
BT1201-3	粗粒石英	0.07	0.2	0.032	0.18	0.08	0.03	0.101	0.018	0.118	0.026	0.073	0.011	0.07	0.01
ZK302-2	石英	0.26	0.63	0.09	0.48	0.19	0.05	0.29	0.05	0.32	0.07	0.19	0.03	0.18	0.02
ZK502-1	石英	0.23	0.51	0.1	0.68	0.06	0.08	0.32	0.05	0.29	0.06	0.14	0.02	0.11	0.01
ZK104-1	石英	0.08	0.14	0.04	0.42	0.16	0.04	0.3	0.04	0.2	0.03	0.07	0.01	0.04	0.05
ZK802-1	石英	0.08	0.44	0.09	0.6	0.29	0.09	0.42	0.06	0.32	0.06	0.13	0.02	0.08	0.01
BT001-1	细粒石英	0.09	0.39	0.071	0.44	0.08	0.13	0.392	0.06	0.338	0.065	0.155	0.022	0.11	0.01
BT001-2	细粒石英	0.11	0.34	0.084	0.71	0.14	0.09	0.251	0.05	0.366	0.091	0.283	0.047	0.34	0.05
ZK1203 H51-1	细粒石英	3.33	8.13	1.257	6.63	2.77	0.98	3.101	0.54	3.483	0.761	2.075	0.302	1.92	0.26
ZK1203 H53	细粒石英	0.96	3.02	0.48	2.61	1.06	0.48	1.537	0.25	1.504	0.307	0.781	0.106	0.63	0.08

续表 5-7 矿物中的微量元素含量 (10⁻⁶)

野外编号	样品名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ZK1203 H56	细粒石英	2.9	6.5	0.84	3.71	1.67	0.56	1.726	0.29	1.803	0.38	0.999	0.14	0.86	0.11
ZK1203 H55-1	粗粒黄铁矿	14.43	21.44	3.142	15.68	2.31	0.4	2.991	0.47	2.735	0.539	1.327	0.174	1	0.16
ZK1201 B1-2	细粒黄铁矿	14.55	18.33	2.264	9.53	1.87	0.3	2.587	0.42	2.524	0.514	1.306	0.177	1.05	0.15
ZK1203 H49-1	细粒黄铁矿	14.88	21.95	3.351	17.42	3.86	0.62	4.551	0.71	4.106	0.804	1.964	0.256	1.46	0.21
ZK1203 H51-3	细粒黄铁矿	13.54	13.19	2.526	16.49	2.28	0.3	2.668	0.42	2.447	0.483	1.19	0.156	0.9	0.17
ZK1203 H55-2	细粒黄铁矿	12.46	17.13	2.658	14.05	2.59	0.63	2.294	0.38	2.33	0.484	1.255	0.173	1.05	0.19

将石英、方解石、黄铁矿中的稀土元素同球粒陨石进行比较得：

表 5-8 矿物中稀土元素特征参数

样品号	样品名	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	$\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$	δEu	δCe
ZK302-5	方解石	95.05	53.91	41.14	1.31	1.16	0.38	1.13
ZK302-1	方解石	72.96	43.70	29.26	1.49	0.96	0.71	1.35
TC3601-2	粗粒石英	0.24	0.12	0.12	0.98	0.36	1.71	1.41
ZK1201B1-1	粗粒石英	14.36	10.01	4.35	2.30	2.55	1.19	1.00
ZK1203H49	粗粒石英	1.60	0.99	0.61	1.62	1.02	1.20	1.00
ZK1203H51-2	粗粒石英	1.22	0.76	0.46	1.66	1.13	1.50	0.67
BT1201-3	粗粒石英	1.02	0.59	0.43	1.39	0.72	1.02	1.03
ZK302-2	石英	2.85	1.70	1.15	1.48	1.04	0.65	1.01
ZK502-1	石英	2.66	1.66	1.00	1.66	1.50	1.42	0.82
ZK104-1	石英	1.62	0.88	0.74	1.19	1.43	0.55	0.60
ZK802-1	石英	2.69	1.59	1.10	1.45	0.72	0.79	1.12
BT001-1	细粒石英	2.35	1.20	1.15	1.04	0.59	1.84	1.13
BT001-2	细粒石英	2.95	1.47	1.48	1.00	0.23	1.45	0.82
ZK1203H51-1	细粒石英	35.54	23.10	12.44	1.86	1.24	1.02	0.97
ZK1203H53	细粒石英	13.81	8.61	5.20	1.66	1.09	1.15	1.08
ZK1203H56	细粒石英	22.49	16.18	6.31	2.56	2.42	1.00	1.01
ZK1203H55-1	粗粒黄铁矿	66.80	57.40	9.40	6.11	10.35	0.47	0.75
ZK1201B1-2	细粒黄铁矿	55.57	46.84	8.73	5.37	9.94	0.42	0.70
ZK1203H49-1	细粒黄铁矿	76.14	62.08	14.06	4.42	7.31	0.45	0.73
ZK1203H51-3	细粒黄铁矿	56.76	48.33	8.43	5.73	10.79	0.37	0.51
ZK1203H55-2	细粒黄铁矿	57.67	49.52	8.16	6.07	8.51	0.77	0.69

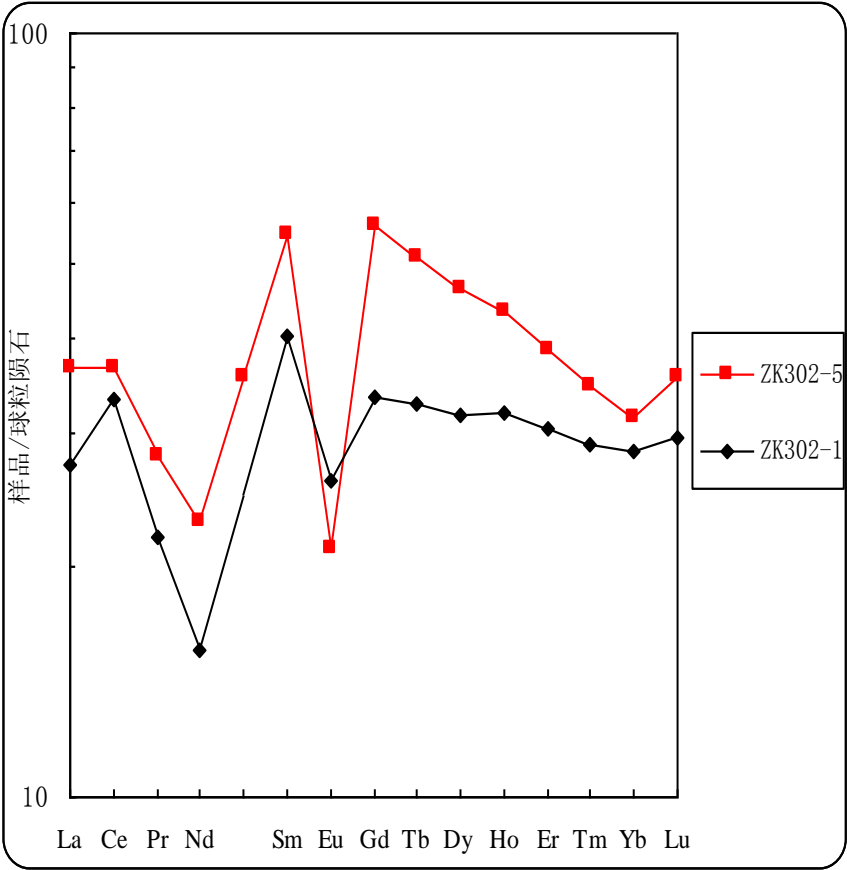


图 5-4 方解石中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

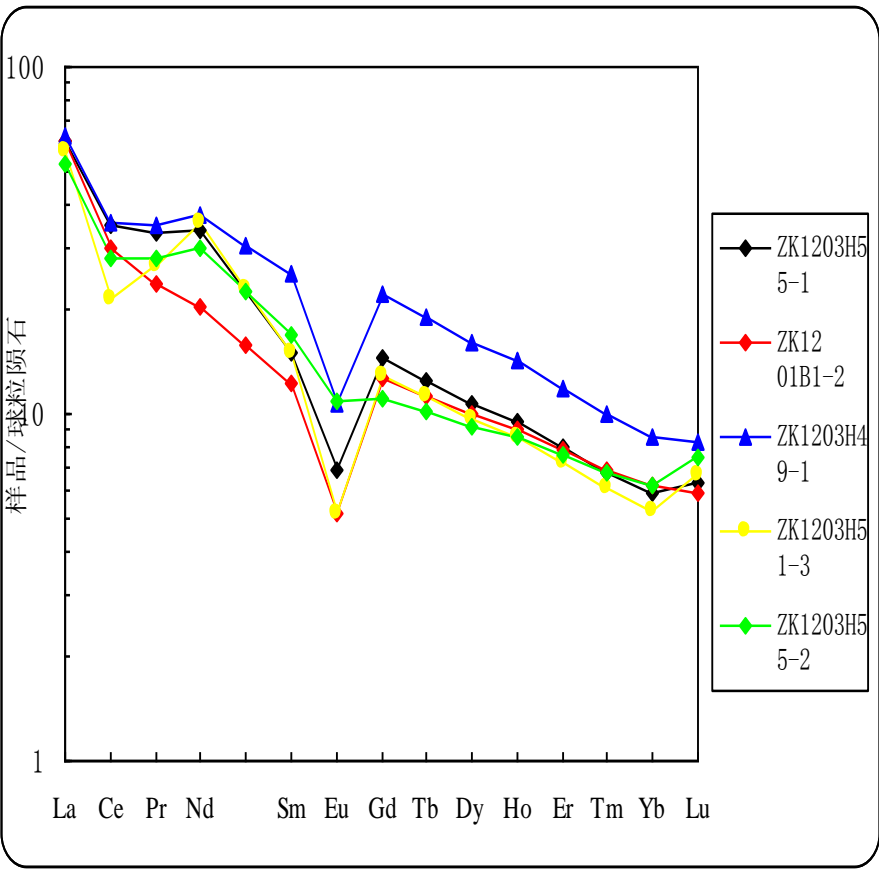


图 5-5 黄铁矿中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

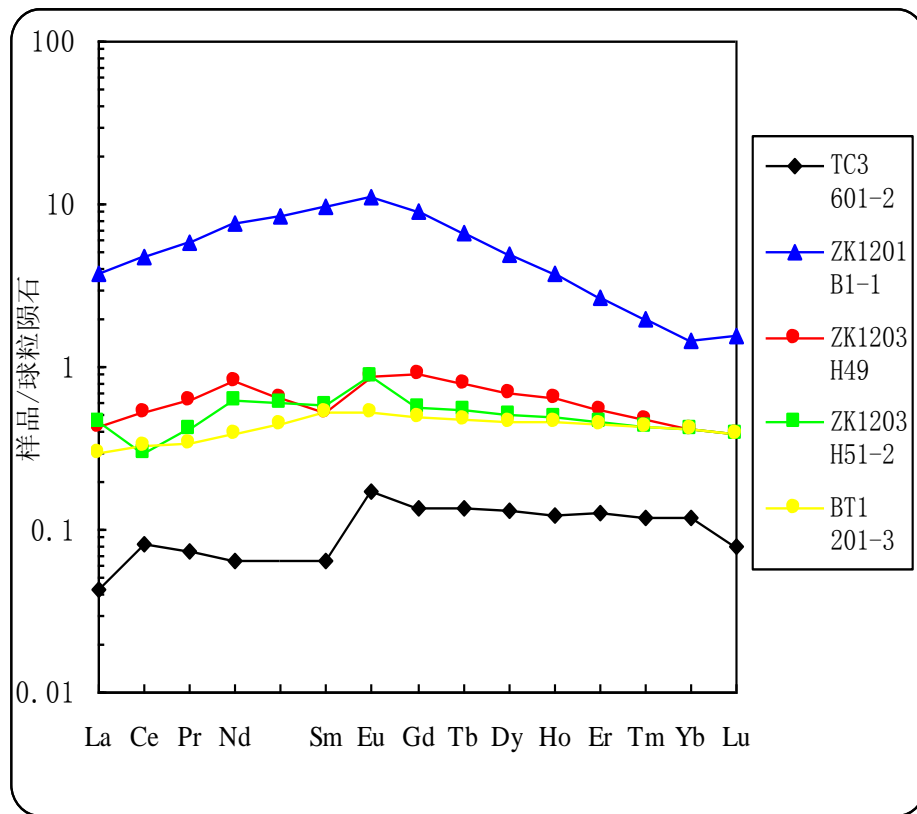


图 5-6 粗粒石英中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

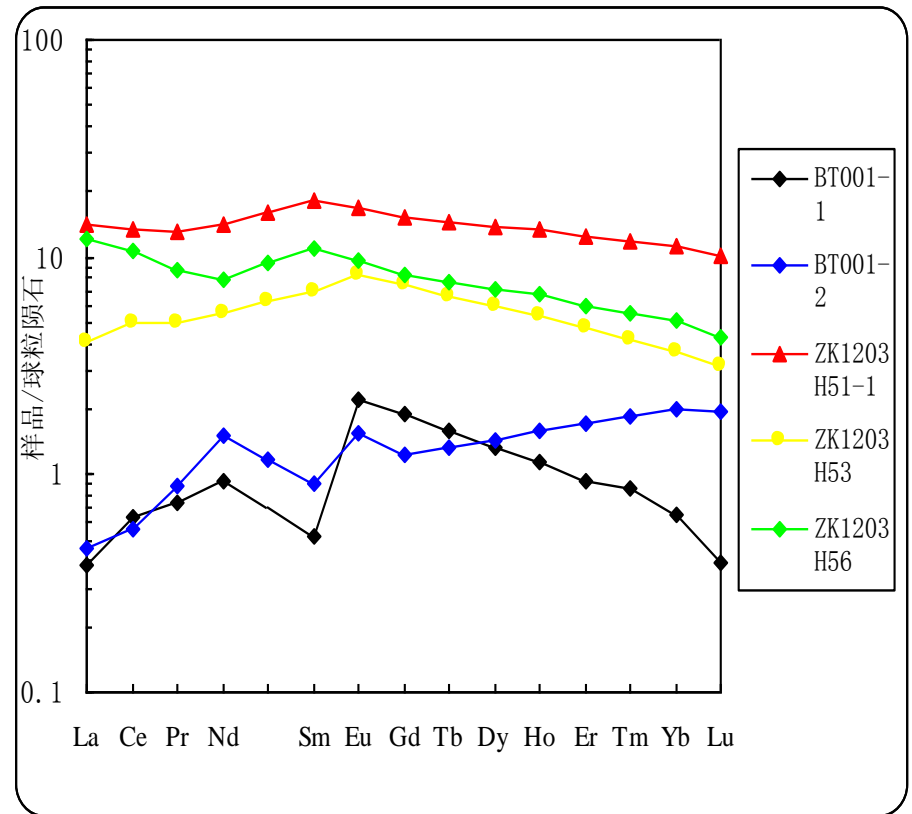


图 5-7 细粒石英中稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

从表 5-8, 图 5-4、5-5、5-6、5-7 中可以看出, 脉石矿物方面, 方解石和石英轻重稀土分馏程度都不大, $LREE/HREE$ 和 La_N/Yb_N 在 1 附近波动, 基本主线呈一水平, 即轻重稀土分馏程度很低。但二者也存在一些差异: 1) 方解石的稀土含量明显高出石英许多; 2) 方解石中 $\delta Eu < 1$, 而石英中的 δEu 则基本大于 1, 说明二者形成条件的差异。粗粒石英和细粒石英之间也存在不同: 1) 细粒石英的稀土含量比粗粒石英的稀土含量相对要高; 2) 它们的配分曲线虽然相似, 没有大的起伏, 可能物质来源相同; 不过粗粒石英的 Eu 正异常大于细粒石英, 从另一个方面说明了微量元素中分析的二者可能形成时间不同期。

矿石矿物方面, 黄铁矿的配分曲线和参数与脉石矿物差异很大, 暗示它们的形成存在差异。黄铁矿的模式呈现整体右倾, 轻重稀土中等分馏 (La_N/Yb_N 比值介于 7.21-10.35 之间), 而且明显的 Eu 负异常 (0.37-0.77)。

黄铁矿的稀土特征参数和配分曲线与围岩有一定的相似性, 笔者推测其形成与围岩有一定的联系, 即成矿物质可能部分来自围岩。而石英和方解石的稀土元素配分模式与围岩相差较大, 其中尤其石英的配分曲线起伏和原始地幔相似, 暗示有深部流体的参与。

5.6 与地球各圈层的对比

石英是金矿床中的重要矿物,近年来,国外利用中子活化分析石英中的稀土元素含量来推测金矿床的成矿物质来源已取得有意义的进展,而且新康猫金矿石英脉与金矿化关系密切。所以笔者将新康猫金矿床中石英的稀土元素同地球各圈层做对比,已探求成矿的其他影响因素。

表 5-9 新康猫金矿床石英的稀土元素与地球圈层对比 (单位: 10^{-6})

对比样本	新康猫金矿床	上地壳	下地壳	地壳	原始地幔
La	0.659	38	9.5	19	0.7080
Ce	1.697	80	17	38	1.8330
Pr	0.267	8.9	2	4.3	0.2780
Nd	1.476	32	8	16	1.3660
Sm	0.584	5.6	2.8	3.7	0.4440
Eu	0.235	1.1	1.1	1.1	0.1680
Gd	0.758	4.7	3.1	3.6	0.5950
Tb	0.122	0.77	0.58	0.64	0.1080
Dy	0.738	4.4	3.4	3.7	0.7370
Ho	0.152	1	0.73	0.82	0.1630
Er	0.395	2.9	2	2.3	0.4790
Tm	0.056	0.5	0.35	0.4	0.0740
Yb	0.339	2.8	1.9	2.2	0.480
Lu	0.048	0.4	0.25	0.3	0.0737

注:表中数值为稀土元素平均值,除新康猫外,地壳数据来源据周学武等^[42],原始地幔来自McDonough等(1991)

处理数据得:

表 5-10 与地球各圈层对比的稀土元素特征参数

样品号	样品名	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	La_N/Yb_N	δEu	δCe
Xin Kangmao	新康猫金矿床	7.53	4.92	2.61	1.89	1.39	1.08	0.99
Upper Crust	上地壳	183.07	165.60	17.47	9.48	9.73	0.64	1.03
Lower Crust	下地壳	52.71	40.40	12.31	3.28	3.59	1.14	0.91
Crust	地壳	96.06	82.10	13.96	5.88	6.19	0.91	0.99
Mantle	原始地幔	7.51	4.80	2.71	1.77	1.06	1.00	1.01

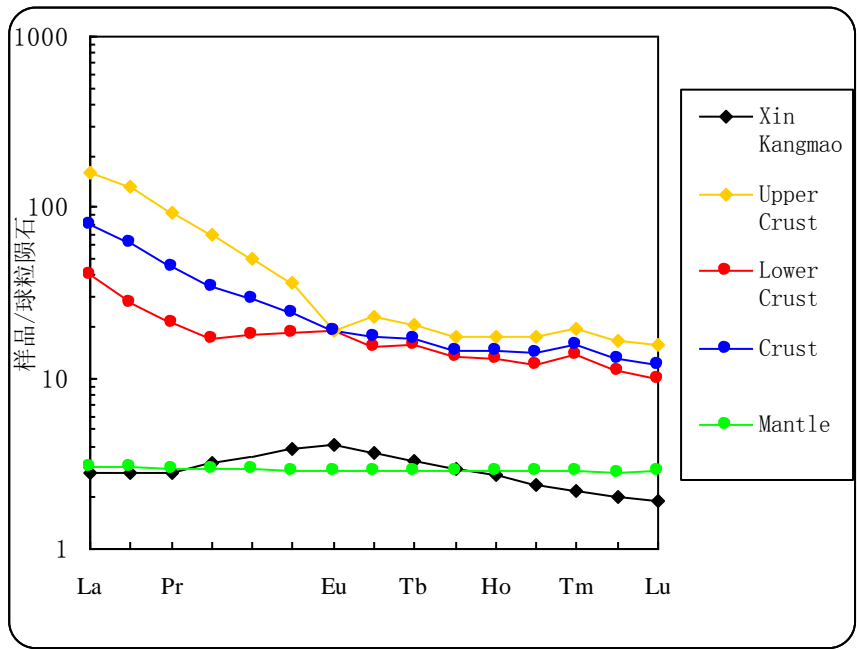


图 5-8 与地球各圈层对比稀土元素配分模式图

结合表 5-9、表 5-10 和图 5-8 可以看出，新康猫金矿的配分曲线和特征参数与原始地幔更为接近， $LREE/HREE$ 在 1.8 左右，轻重稀土比 La_N/Yb_N 在 1 左右， δEu 和 δCe 都很接近，甚至是稀土总量也较接近。虽然不能就此说明其成矿物质来源，但推测可能有深部流体参与成矿。

结 论

1) 微量元素方面: 围岩中的 Au 分析, 发现整个矿区范围内地层中的成矿元素达到了浓集, 而赋矿的围岩中的成矿元素又相对背景出现了一定得富集。矿石中的 Au 与 Ni、As、Sb、Ag 正相关性很好, 分别达到了 0.84、0.83、0.68、0.79, 将其与围岩中的 Au 与其他微量元素的相关性做比较, 金矿中 Au 的常规伴生元素 As 和 Ag 不论是在围岩还是矿石中, 它们之间的正相关性都很好, 它们在物质迁移过程中也就一起迁移的。再由于围岩和矿石的微量元素蛛网图也相似性也较高, 并且围岩本身就出现了金元素的原始富集, 所以综合这三点笔者推测该矿床的成矿物质可能部分来源于围岩。

矿石中的稀土元素配分模式与围岩和岩脉中的稀土分配规律整体有所类似, 右倾, Eu 负异常, 但是 Ce 不仅出现了负异常, 而且还出现正异常。同时可以发现矿石中的 Eu 负异常与岩脉更为接近, 反映出成矿物质可能取源于围岩, 但也可能有后期深部岩浆提供了动力和能量, 即矿石为成矿期的热液活动对原岩进行交代、改造并将矿质留下而形成的产物, 因此矿石仍然保留和继承了原岩的稀土元素含量特点, 同时也与岩脉有相似之处。

2) 黄铁矿中钴含量在 98.4-152.5ppm 之间, 而大多数黄铁矿中 Co 含量小于 Ni, 但也有个别黄铁矿中 Co 含量大于 Ni。说明该矿床成矿围岩地层是主要物源, 但同时也受岩浆热液的影响。

3) 黄铁矿中 Co/Ni 比值多在 1 以下, 只有个别大于 10, 说明该矿床属于中低温矿床。而且矿区蚀变作用中出现了绢云母化、绿泥石化也都是重要的中低温热液蚀变。

4) 石英: 粗粒石英和细粒石英微量元素含量差异较大, 暗示二者形成条件有所差异, 不是同一时期形成。而且围岩蚀变中的硅化与金矿化关系密切, 根据野外照片中石英切割的不同推断成矿可能经过多次改造。

5) 石英是金矿床中的重要矿物, 近年来, 国外利用中子活化分析石英中的稀土元素含量来推测金矿床的成矿物质来源已取得有意义的进展, 而且新康猫金矿石英脉与金矿化关系密切。尤其与早期的网脉状石英有关。所以笔者将新康猫金矿床中石英的稀土元素同地球各圈层做对比, 发现石英中的稀土元素配分模式同原始地幔接近, 推测可能有深部流体参与成矿。

致 谢

本论文取自成都理工大学和四川省化探队的合作项目《四川省红原县刷经寺新康猫金矿成矿规律及找矿方向研究》，主要由四川省地质矿产勘查开发局资助，论文编写在张成江老师的悉心指导下完成。近三年来，导师对作者在学业上循循善诱、提点有加。从野外采样实习中不厌其烦的地质基本技能教授和训练，到室内教学研究中孜孜以求的要求对国内外最新科研成果和理论的及时跟进与消化。从正式的授课、讲座、汇报到日常的科研、学习甚至闲聊之中，于无形有意之中，答疑解惑、传道授业。而在生活上，对本人和蔼如亲、无微不至。从日常琐事的关心和帮助，到为人处事的点醒与感悟。使得学生受益匪浅、甚为感动。与此同时，张老师深厚的学术造诣、超前的科研意识，严谨的治学态度，一丝不苟的工作作风，对科学孜孜不倦的追求精神，和蔼如亲、宽以待人、为人正直的生活情怀，尤其是他那善于从宏观上、总体上高瞻远瞩、高屋建瓴的把握研究方向的关键所在的高超艺术，所有这些都给学生留下了无比深刻的印象，是学生终身学习的榜样和终身取之不竭、用之不尽的宝贵精神财富。在良师的点拨下，本人豁然开朗。在业务水平和为人处事上都收获颇丰，大有进步。本次论文的完成从选题、研究思路都凝聚着导师大量的劳动，野外采样、实地踏勘和室内研究过程中，张老师是事必躬亲，认真严谨；论文写作过程中，导师更是多次提出宝贵的修改意见，力求完善。

同时，对四川省化探队在野外资料方面的有力帮助表示衷心感谢。感谢成都理工大学倪师军教授、施泽明副教授以及修淑芝老师，王永利老师和徐争启老师在开题报告答辩过程中给予论文完善和修改的宝贵意见和建议；感谢彭秀红老师，李巨初老师和温春齐老师在平时学习中对我的谆谆教诲；感谢施泽明老师和刘峰老师给了我在野外锻炼的机会；感谢评审老师给出的宝贵意见。在此还要感谢黄午兴、王红军、罗改和樊融等同学在论文编写过程中对于作图等方面的帮助，正是由于大家的帮助，论文才得以顺利的完成。

感谢所有人!谢谢!

参考文献

- [1] 张兴余译. 碳酸盐岩为主岩的浸染型金矿床形成模式[J]. 国外铀矿地质, 1998, (2):12-18.
- [2] Nessbitt B.E. Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust[J]. *Geology*, 1988, 16:1044-1048.
- [3] 刘东升,谭运金,王建业,等. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[M]. 南京:南京大学出版社, 1994.
- [4] 潘彤,孙丰月,邵军等. 美国与中国西部卡林型金矿的对比[J]. 地质与资源, 2003, 12(4):248-252.
- [5] 普传杰,高振敏. 国内外卡林型金矿对比研究[J]. 云南地质, 2003, 22(1):27~38
- [6] 拉德克 S. 卡林金矿地质学[M]. 李文明等译. 贵州省地质矿产局科技情报室, 1987.
- [7] 周余国,刘继顺,欧阳玉飞等. 卡林型金矿的再定义[J]. 黄金, 2008, 29(11):7-11.
- [8] 刘继顺,舒广龙,高珍权. 鄂东丰山矿田卡林型金矿地质地球化学特征[J]. 地学前缘, 2004, 11(2):379-385.
- [9] 王可勇,姚书振,吕新标. 国内外微细浸染型金矿床研究现状及发展趋势[J]. 贵金属地质, 2000, 9(4):223-228.
- [10] 刘继顺,周余国,韩海涛,等. 滇东南底圩金矿地质特征及找矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(4):652-658.
- [11] Kuehn C A, Rose A W. Carlin gold deposit, Nevada: Origin in a deep zone of mixing between normally pressured and overpressured fluids[J]. *Economic Geology*, 1995, 90:17-36.
- [12] 潘家永,张乾,邵树勋. 桂西北发现一类新的微细浸染型金矿[J]. 黄金, 1998, 19(7):3-6.
- [13] 谭运金. 滇黔桂地区微细粒浸染型金矿床的地球化学类型[J]. 矿床地质, 1994, 13(4):308-321
- [14] Lewis Teal, Mac Jackson. Geologic Overview of the Carlin Trend Gold Deposits and Descriptions of Recent Deep Discoveries, CARLIN IN- TYPE GOLD DEPOSITS FIELD CONFERENCE[M]. Edited by PeterVikre, TommyB. Thompson, Keith Bettles et al, SOCIETY OF ECONOMIC GEOLOGISTS, 1997.
- [15] 王登红. 卡林型金矿找矿新进展及其意义[J]. 地质地球化学, 2000, 28(1):92-94.
- [16] 张秋明译. 国外矿产地质: 矿产模式(九)——浸染型金矿床[M]. 1987.
- [17] Nessbitt B E. Gold deposit continuum: A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust[J]. *Geology*, 1988, 16:1044-1048.
- [18] 王登红,林文蔚,杨建民,等. 试论地幔柱对我国两大金矿集中区的控制意义[J]. 地球学报, 1999, 20(2):157-162.
- [19] 刘东升,耿文辉. 我国卡林型金矿矿物特征及成矿条件探讨[J]. 地球化学, 1985, (03):277-282.
- [20] 郑明华,张斌,周渝峰,顾雪祥,刘建明,刘家军. 一个海底喷流——地下水热液改造成因的金-铜-铀-铂族金属矿床的新矿例[J]. 科学通报, 1991,(15):1198-1199.
- [21] 郑明华,周渝峰,刘建明. 喷流型与浊流型层控金矿床[M]. 四川科学技术出版社, 1994.
- [22] 叶连俊,李任伟,王东安.生物成矿作用研究展望——沉积矿床学的新阶段[J]. 地球科学进展, 1990,(03):1-4.
- [23] 王全伟,姚书振,骆耀南. 川西北微细浸染型金矿成矿构造系统及其动力学分析[M]. 电子科技大学出版社, 2003.
- [24] 张均. 川西北地区金矿床的双源复合成矿新认识[J]. 地质科技情报, 2000, 19(01):51-56.

- [25] 王可勇,姚书振,张保民,张晓军. 川西北微细浸染型金矿床石英脉及其特征[J]. 地球科学. 中国地质大学学报, 2001, 26(02):118-122.
- [26] 郑明华,周渝峰,刘建明. 喷流型与浊流型层控金矿床[M]. 四川科学技术出版社, 1994.
- [27] 王全伟,骆耀南. 川西北微细浸染型金矿集中区地层在金成矿中的作用[J]. 四川地质学报, 2002, 22(04):205-209.
- [28] 张均,张晓军,廖群安(中国地质大学). 川西北地区金成矿的构造—岩浆控制[J]. 黄金, 2000, 21(6):1-5.
- [29] 王全伟,梁斌. 川西北微细浸染型金矿集中区构造对金成矿的控制[J]. 矿物岩石, 2004, 24(4):49-52.
- [30] 李向东,王晓伟. 大水金矿成矿地质特征及控矿因素分析[J]. 甘肃科技, 2006, 22(8):64-67.153-160.
- [31] 徐国风,邵洁涟. 黄铁矿的标型特征及其实际意义[J]. 地质评论, 1980, 26(6):541-546.
- [32] Wright. C.M.1965, Syngenetic association with a pre-cambrian iron deposit. Econ. Geol. 60. 998-1019.
- [33] 盛继福,李岩,范书义. 大兴安岭中段铜多金属矿床矿物微量元素研究[J]. 矿床地质, 1999, 18(2):
- [34] 李昌年. 微量元素及其在岩石学中的应用[M]. 武汉地质学院岩石教研室. 1986.
- [35] 涂光炽等. 地球化学[M]. 上海科学技术出版社. 1984.
- [36] 赵振华. 稀土元素地球化学研究方法[M]. 地质地球化学. 1981.
- [37] Hanson, G.H. The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition, Earth and planet. Sci. lett., 1978, 38, 26-44.
- [38] 胡明铭,郑明华,陈建平. 藏东玉龙铜矿床似层状矿体成矿物质来源[J]. 矿物岩石. 1999, 19(3):73—76.
- [39] 孙超. 吉林省香炉碗子金矿床稀土元素地球化学特征研究[J]. 吉林地质, 1998, 17(2):54-58.
- [40] 顾雪祥,刘建明,Oskar Schulz等. 湖南沃溪金—铋—钨矿床成因的稀土元素地球化学证据[J]. 地球化学, 2005, 34(5):428—442.
- [41] 赵振华. 某些常用稀土元素地球化学参数的计算方法及其地球化学意义[J]. 地质地球化学, 1985, (S1):11-14.
- [42] 周学武,邵洁涟等. 东北寨金矿床石英的标型特征研究[J]. 矿产与地质, 1992, 6(3):208-214.

攻读学位期间取得学术成果

- [1] 四川省红原县刷经寺新康猫金矿中矿物的稀土元素配分模式[J].现代矿业, 2009(1): 69-72

四川省红原县新康猫金矿床的微量元素地球化学特征

作者：[曾广亮](#)
学位授予单位：[成都理工大学](#)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [毛光周](#). [华仁民](#). [高剑峰](#). [赵葵东](#). [龙光明](#). [陆慧娟](#). [姚军明](#). [MAO GuangZhou](#). [HUA RenMin](#). [GAO JianFeng](#). [ZHAO KuiDong](#). [LONG](#)

[GuangMing](#). [LU HuiJuan](#). [YA0 JunMing](#) 江西金山金矿床含金黄铁矿的稀土元素和微量元素特征 -矿床地质2006, 25(4)

金山金矿床位于赣东北矿集区内,是与韧性剪切带有关的超大型金矿床.黄铁矿是该矿床最主要的载金矿物.文章利用含金黄铁矿的稀土元素组成示踪了金山金矿床的成矿物质及成矿流体的来源和性质.研究表明,金山金矿床黄铁矿稀土元素总量较高, Σ REE平均为171.664 $\times 10^{-6}$,富集轻稀土元素,LREE平均为159.556 $\times 10^{-6}$,HREE平均为12.108 $\times 10^{-6}$,轻重稀土元素比 Σ LREE/ Σ HREE平均为12.612,(La/Yb)N值平均为11.765,为轻稀土元素富集型;轻稀土元素有较明显的分馏,而重稀土元素的分馏不明显,(La/Sm)N值平均为3.758,(Gd/Yb)N值平均为1.695;Eu负异常明显, δ Eu值平均为0.664;基本无Ce异常, δ Ce值平均为1.044.黄铁矿的稀土元素特征与该矿床的围岩(蚀变变形的变质岩)、区域地层具有相似的地球化学特点,而与邻近的花岗闪长斑岩稀土元素特征不同,所以金山金矿床的成矿物质来源于变质岩围岩,成矿流体主要为变质水.黄铁矿中的Co/Ni比值显示金山金矿床为中低温矿床;成矿经历了沉积成岩、区域变质、韧性剪切带的动力变质作用及表生氧化作用的演化过程.从黄铁矿的Y/Ho比值推断金山金矿床含金黄铁矿的成矿流体为变质流体.黄铁矿中微量元素与矿区变质岩也有相似的组成,亏损HFSE.从黄铁矿的REE、LREE、HFSE、Hf/Sm、Nb/La、Th/La、Co/Ni、Y/Ho等特征,可推断金山金矿床的成矿流体是C1多于F的变质流体.

2. 期刊论文 [袁峰](#). [周涛发](#). [岳书仓](#) 新疆阿克提什坎金矿床微量元素特征 -地质地球化学2002, 30(1)

阿克提什坎金矿床位于北阿爾泰諾爾特地區南緣東段,賦存于下石炭統紅山嘴組地層中.系統地研究了該金礦床微量元素的組成特征,并應用等位線方法討論了熱液蝕變作用過程中微量元素的行为,并对微量元素在熱液蝕變過程中迁移的质量进行了计算,研究表明在熱液蝕變作用过程中,微量元素尤其是Au、As等元素活动强烈,有较大的带入和带出,微量元素尤其是成矿元素表现出随蚀变程度加深变化量加大的特点.

3. 期刊论文 [李德亨](#). [徐九华](#). [袁怀雨](#). [Li Deting](#). [Xu Jiuhua](#). [YUAN Huaiyu](#) 赤峰柴胡栏子金矿床深部矿化及金属矿物微量元素特征 -黄金2005, 26(8)

柴胡栏子金矿床是以破碎蚀变岩型为主、石英脉型为次的金矿床,黄铁矿是最主要的载金矿物和矿化标志.本次研究重点查明了深部矿体围岩蚀变特征及成分、矿石结构构造、矿物成分及共生组合特征,金(银)矿物及主要载金矿物的赋存状态,对矿石的矿化和金属矿物的微量元素特征进行了研究,为进一步认识矿床的深部地质特征提供了一定的基础资料.

4. 学位论文 [吴建军](#) 新疆南天山东段红山金矿床金及微量元素地球化学 1996

该文应用岩石化学、微量元素、稀土元素地球化学、实验地球化学、多元数理统计分析等研究方法,深入系统地研究了新疆南天山东段天山韧性剪切带红山金矿床中金及微量元素的分布、组合关系及演化规律.并根据丰富的岩石化学分析数据建立了微量元素数学分析模型,定量地探讨了红山矿床的物质来源、流体成矿机制和含矿异常判别.岩石化学、微量元素、稀土元素地球化学特征显示,该区是一套碎屑杂砂岩及区内火成岩组成的含金建造.志留-泥盆纪地层是建造中含金层位(矿源层),红山闪长岩是建造中含金岩体(矿源岩),金在区域分布上具有较高背景丰度.金成矿元素数理统计分析、实验地球化学研究表明,该区金分布具有非相交高离散性特征.志留-泥盆纪地层中有有机碳的存在对金富集有利,是金的强富集剂,地层中金的“高值总体”(活价金)较“背景总体”有较高比例,能够为红山矿床成矿作用提供足够的成矿物质.微量元素数理统计分析研究表明,可以通过元素地球化学行为复杂度的微量元素反映出与之相关的元素地球化学行为复杂度高的元素.研究指出,红山矿床是在韧性剪切作用及岩浆热液作用下成矿流体多期叠加形成的.早期流体成矿作用阶段,流体中硅析出,形成金-石英脉型金矿;晚期流体成矿作用阶段,流体中金属硫化物析出,形成金-黄铁矿硫化物型金矿.不同类型金矿之间有着内在成因联系.研究同时总结了成矿流体中微量元素物质来源、元素演化机制及成矿物理化学条件.研究指出,流体成矿环境为弱碱性、弱还原性,微量元素依流体成矿温度梯度呈现规律性垂直分带,预示了深部矿体的存在.微量元素数理统计分析还表明红山矿床岩石含矿性与不含矿性之间微量元素地球化学特征差异明显,可以帮助查找隐伏矿体.

5. 期刊论文 [毕献武](#). [胡瑞忠](#). [D. H. Cornell](#). [BI Xian-wu](#). [HU Rui-zhong](#). [D. H. Cornell](#) 富碱侵入岩与金成矿关系: 云南省姚安金矿床 成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据 -地球化学2001, 30(3)

产在姚安富碱侵入岩体内外接触带上的姚安金矿床为对象,对成矿流体形成演化过程中的微量元素和 S、C同位素地球化学进行了综合研究.研究表明,富碱侵入岩成岩过程中分异出的岩浆流体提供了姚安金矿床早期成矿作用所必需的成矿流体;从早期成矿阶段至晚期成矿阶段,成矿流体经历了从以岩浆流体为主的流体体系至以大气降水为主的流体体系的转变.因此,钙碱性侵入岩成岩过程中可分异出成矿流体的过程,也存在于富碱侵入岩的成岩过程中.

6. 期刊论文 [徐晓春](#). [陆三明](#). [谢巧勤](#). [楼金伟](#). [褚平利](#). [XU XiaoChun](#). [LU SanMing](#). [XIE QiaoQin](#). [LOU JinWei](#). [CHU PingLi](#) 安徽铜陵冬瓜山铜金矿床流体包裹体微量元素地球化学特征及其地质意义 -岩石学报2008, 24(8)

安徽铜陵冬瓜山铜金矿床是狮子山矿田中埋藏深度和地质储量最大的矿床,同时发育层控砂卡岩型和斑岩型矿体.该矿床流体成矿从早期到晚期经历了多个矿化阶段.本文选取了钾长石化阶段、砂卡岩化阶段、早石英硫化物阶段和晚石英硫化物阶段矿石中石英的原生流体包裹体进行了ICP-MS分析,结果表明,各成矿阶段石英流体包裹体微量元素的陆壳标准化分布曲线具有较好的一致性,显示成矿流体具有统一的来源和演化;流体包裹体的REE配分曲线与岩浆岩的稀土元素配分曲线相似,均为平缓右倾型,轻稀土明显富集,LREE/HREE比值与岩浆岩接近,显示成矿热液具有深部岩浆来源的特征.流体包裹体微量元素的分析显示成矿流体为矿质富集的热液流体,且各成矿阶段热液流体中的成矿元素含量高低的变化与相应阶段的矿化强度及矿石品位高低变化相一致,早石英硫化物阶段是矿质集中富集的最佳阶段,至晚石英硫化物阶段可能有浅部热液流体的混入.

7. 学位论文 [庞奖励](#) 辽宁省二道沟金矿床地质地球化学研究 1995

该文以辽宁二道沟金矿床为例,对其地质地球化学特征进行了系统全面地研究,总结了火山岩型金矿床的成矿规律并分析了该地区的成矿前景.二道沟金矿床是一比较典型的陆相火山岩型金矿床,产于由钙碱性流纹岩、粗面英安岩、火山碎屑岩和闪长玢岩等岩石构成的陆相火山岩系中;金厂梁金矿床产于与火山岩相毗邻的变质岩中;小长皋沟金矿床产于与火山岩相毗邻的似斑状花岗岩内,它们与二道沟金矿床在地质地球化学特征方面明显的相似性,同属于火山岩型金矿床,同受围绕对面沟岩体分布的放射状断裂所控制,是同一地质事件的产物.

8. 期刊论文 [罗锡明](#). [齐金忠](#). [袁士松](#). [李志宏](#) 甘肃阳山金矿床微量元素及稳定同位素的地球化学研究 -现代地质2004, 18(2)

甘肃省阳山金矿位于川陕甘交界地带,为近年发现的一特大型微细浸染型金矿床.该矿目前已发现4个矿段,均赋存于浅变质的泥盆系地层中.矿体在平面上呈舒缓波状,在剖面上为脉状、似层状.矿石中金属矿物主要为黄铁矿和毒砂,金主要以微细粒金(2~3 μ m)包裹于毒砂、黄铁矿及粘土矿物之中.矿床微量元素含量研究表明,矿石中Au、Hg、As、Bi、Sb等元素较为富集,并且其间呈明显的正相关关系,显示阳山金矿的形成与富含Au、Hg、As、Bi、Sb等低温热液元素的成矿流体活动有关,向深部这些元素含量趋于降低,表明成矿流体活动趋弱.矿石石英的 δ D值为-60‰~-72‰, δ 18OH₂O值为8.0‰~10.1‰,表明成矿流体主要为岩浆热液;矿石黄铁矿的 δ 34S值为-2.2‰~-0.7‰,不同于泥盆系地层中沉积黄铁矿的 δ 34S值(10.9‰),表明矿石硫为岩浆硫,因而阳山金矿床的形成与岩浆热液活动密切相关.

9. 期刊论文 [唐文春](#). [朱汇派](#). [TANG Wen-chun](#). [ZHU Hui-pai](#) 新康猫金矿床热液矿物微量元素地球化学特征及成因探讨 -矿物岩石2008, 28(4)

通过对与新康猫金矿成矿有关的石英、方解石和黄铁矿的微量元素、稀土元素等地球化学特征的测试分析发现:这些数据较好地反映了该矿床的成矿流体来源和成因信息证实其为受层间和构造复合控制的微细浸染型金矿床.矿体赋存于北北东向与北北西向构造复合部位,在垂向上构造对成矿具有分带控制的特征.石英形成于氧化环境下石英中Au与亲岩浆元素Cr、Co、Rb、Zr、Hf、Th、V、W、O正相关,说明有较多深部流体或岩浆流体参与.黄铁矿中Au、As含量很高.其稀土元素配分模式与岩石有一定的相似性,而石英与方解石的则与岩石的有较大的差异,显示形成的流体是有深部流体的参与.

10. 期刊论文 [郑杰](#). [余大龙](#). [杨忠琴](#). [ZHENG Jie](#). [YU Da-long](#). [YANG Zhong-qin](#) 黔东八克金矿床毒砂和黄铁矿微量元素地球化学研究 -矿物学报2010, 30(1)

八克金矿床以矿体和围岩广泛出现毒砂为典型特征,毒砂、黄铁矿为金的主要共生矿物.对矿体及其围岩中毒砂、黄铁矿进行稀土和微量元素地球化学研究,结果显示矿体中毒砂和黄铁矿的稀土元素总量明显低于围岩的毒砂、黄铁矿,从矿体一近矿围岩一远矿围岩,毒砂、黄铁矿都出现铈的明显负异常,铈无明显异常,反映成矿流体具弱还原性;毒砂、黄铁矿微量元素含量呈现出随着成矿流体从早期到晚期的演化而减少,并普遍亏损高场强元素,富集LREE的特征;通过对黄铁矿、毒砂Hf/Sm、Nb/La和Th/La比值分析,表明八克金矿床成矿流体为富C1型流体;从研究毒砂、黄铁矿Y/Ho、Zr/Hf和Nb/Ta比值变化范围,表明作用于围岩、矿体中的成矿流体从早期-晚期发生了改变,推测晚期成矿流体可能遭受了外来热液的混入;应用毒砂、黄铁矿中的Co/Ni比值,结合已有数据,表明成矿热液具有多来源的特点,成矿流体来源于大气降水与岩浆水不均匀混合.八克金矿是岩浆热液型的含金石英脉型金矿床.

