新疆大学

硕士学位论文

新疆东天山部分花岗岩含矿性对比分析

姓名：赵晶

申请学位级别：硕士

专业：工学、地球探测与信息技术

指导教师：黄建华

20060602

摘　　要

随着地质工作的不断深入，东天山地区已成为新疆重要的铜、金成矿区。对与该区矿产有密切成因联系的花岗岩含矿性的研究，有助于为东天山的地质找矿工作提供新思路和新方法，并为东天山地区铜、金成矿模式的研究，提供理论依据。

作者通过野外地质考察和大量资料的收集，运用数学地质的有关原理和方法，结合现代花岗岩的成岩成矿理论，首次对分布于东天山的造山带中不同含矿性的花岗岩进行了对比分析，从岩体地质特征、岩石学、地球化学方面分析不同含矿性岩体的特征，总结了各类岩体在岩浆演化、构造环境、原岩特征方面的异同。并且，在上述工作的基础上，利用判别分析方法，选取相应变量对三类花岗岩进行判别分析，对比不同判别分析方法的效果，选取最适合研究区情况的类型建立含铜、含金、无矿花岗岩的判别函数，对东天山的地质找矿工作有重要意义。

关键字：花岗岩　含矿特征　地球化学　判别分析

Abstract

With geology work being constant to deepen, Eastern Tianshan area become the important copper , gold metallogenic zone .The research of the ore-bearing symptoms of granite ,that have contract with minerals ,can offer new method and idea in geology exploration in Eastern Tianshan.

Bases upon the field investigation and collection of information ,the author systematically contrast the symptoms of different ore-bearing of granite in Eastern Tianshan firstly,combining geomathematic principle and model with modern petrogenesis theory of granitoids. Analayse the similarity and differences in Petro-mineralogy,geochemical pattern and tectonic setting of Model-forming samples of different rock body.And, on above-mentioned foundations of working, utilize and differentiate the analytical method, choosing the corresponding variable will differentiate analysing , compare with different results of differentiating the analytical method to copper bearing granite , gold -bearing granite ,and ore-free granite. Choose the type most suitable for the situation in the studying area and set up and include the copper bearing granite , gold -bearing granite ,and ore-free granite discrimination function.This work have important meanings to geology exploration of Eastern Tianshan

Key words: Granite, Ore-bearing symptoms, Geochemistry,Discriminant analyse

第一章　绪　论

1.1 问题的提出

东天山地区有长期的地质演化发展历史，不同时代、不同类型的花岗岩分布很广，其矿化特征也相当复杂。八十年代以来，先后有新疆地矿局、国家“305”项目办公室、新疆有色局、新疆地勘局、中国地科院、南京大学、长安大学等在该区开展地质工作。取得了东天山花岗岩的分布、成因、侵入年代、与矿化的关系等方面的重大突破。总结了东天山范围不同构造旋回期内各不同成因类型的花岗岩的岩石、矿物、地球化学特征，并统计分析了东天山不同时代、不同类型花岗岩含矿性的微量元素分布规律。随着研究的深入，相继在东天山地区发现了许多与花岗岩有密切成因联系的矿床，如土屋延东斑岩铜矿、金窝子金矿、三岔口铜矿等。在区域成矿条件、成矿规律及预测、典型矿床的成矿模式和找矿模型等方面取得了较大进展，成岩成矿理论水平也上了一个新台阶。但是，自 1999 年以来，该区未发现一个超大型矿床，大中型矿床也屈指可数，找矿未取得突破性进展，这与该区良好的成矿环境及广阔的疆域极不相称。对区内含矿花岗岩的研究，局限于相同时代、相同成因、同一类型岩石或典型矿化体的特征方面。没有从相同矿化类型出发，讨论不同时代花岗岩的特征，建立同类花岗岩的矿化特征判别标志。这些都是目前需要深入探讨的问题。

1.2 研究现状

在本区花岗岩特征的研究方面：

1985 年，新疆地矿局开展了新疆天山花岗岩地质调查，研究了天山地区花岗岩的形成时代、分布、分类、演化特征及与矿产的关系[1]。杨浩（1988）在对东天山花岗岩的岩石化学资料分析的基础上，利用模糊数学的方法，建立了区分同熔型和改造型花岗岩以及区分不同时代同熔型花岗岩的数学模型，给出了东天山地区典型同熔型和改造型花岗岩的岩石化学特征[2]。杨兴科等[3]和刘建[4]研究给出了东天山酸性岩的区域背景值。对于典型矿化花岗岩体，前人也做了大量研究工作[5~8]，提供了东天山范围内酸性岩的分布、演化、岩石特征，矿化类型和特点等信息。

在花岗岩含矿性的评价判别方面：

学者们在我国不同地区的不同类型花岗岩含矿性方面进行了研究，主要有两个方面：一是分析讨论已知含矿性岩体的主量元素特征、微量元素特征、同位素特征等，对其进行含矿性评价[9~15]。，二是对于不同含矿性岩体进行差异对比，提取综合指数作为不同类型的

划分标准[16]。如任进等[17]在对长江中下游与铁、铜有成因联系的花岗岩体研究中，从岩相学、岩石化学、矿物学特征等方面，分析了已知岩体特征，提出定量判别参数，作为岩体潜在含矿性的判别标准，将该区成铁岩带、成铜岩带、成铌、钽岩带区分开来；或利用数学地质的方法，综合岩体各方面特征建立数学模型对不同类型花岗岩进行判别[18-20]，如邢文臣等[21]利用西藏7个斑岩型铜矿岩体的18个样品及7个不含铜矿的18个花岗岩样品作为判别基础，建立判别函数，对该区未知含矿性岩体进行判别，取得良好效果。赵玉琛[22]根据华南花岗岩 46 个样品，在贝叶斯准则下建立了它们的成矿专属性，进一步分析了华南花岗岩的成矿规律并进行预测。而在东天山地区未开展该项工作，这是本文立题的依据所在。

1.3 研究目的和意义

在本区对花岗岩类含矿岩体建立一个综合含矿判别标志，有其重要的理论意义：利用它既可以快速有效地筛选靶区，也可以合理安排工作手段，达到事半功倍的效果。同时，一种判别标志的建立，也就是各项实际资料、信息的理论概括，也是对地学理论的丰富。

目前，东天山正在掀起新一轮铜、金的找矿高潮。因此提出一种好的铜、金矿化判别标志，无疑有着极大的实际意义。本文提出的判别标志，不但总结和综合了前人成果资料和找矿信息，而且将为在该区建立花岗岩与铜金矿床成矿模式，提供了重要的依据，使其能更为有效地指导实际找矿工作。

1.4 技术路线

对于同一大地构造环境或区域中，相同或不同时代产出的花岗岩，在某些岩石或化学特征方面，会有一些相似或继承的特性，如果能找出这些继承或相似的特性，就可以为该区今后的研究工作提供新思路，新方法。本文综合前人研究成果，从含铜、含金、不含矿花岗岩的岩体特征、矿物学特征、主量元素特征、微量元素特征、同位素特征等方面，比较三类岩石的相似性和差异，从地球化学的角度，分析产生异同的原因，结合数学地质的方法，研究东天山地区含铜、含金及不含矿花岗岩的判别标志。具体技术路线如下表：

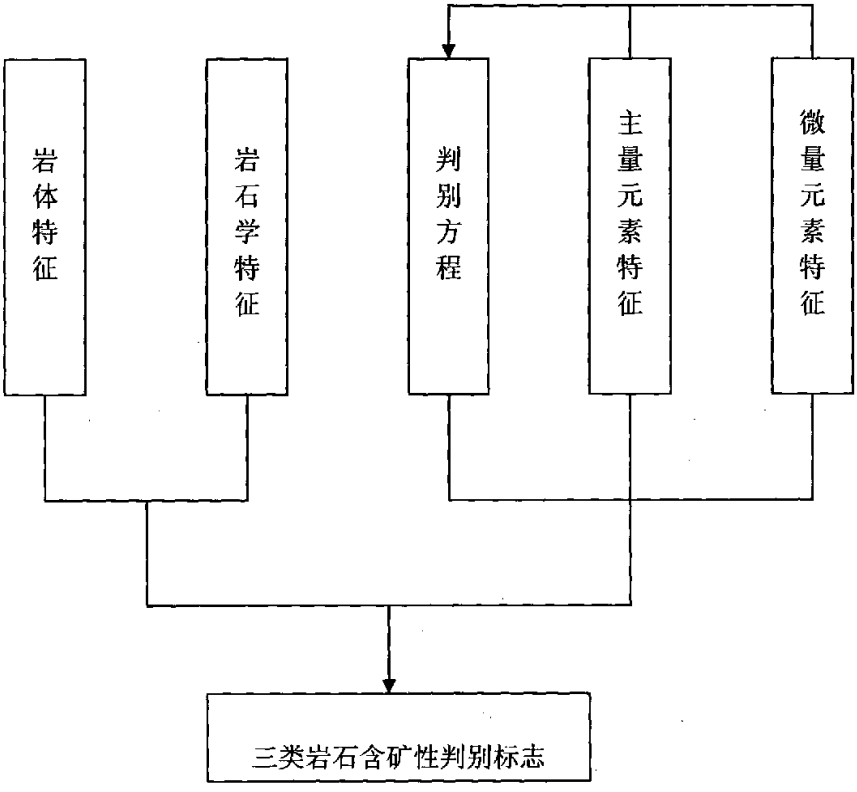


表 1-1 技术路线图

第二章　区域地质

2.1 地层

中天山岛弧带[23]主要由中元古代深一中变质的长城系一星星峡群和蓟县系一卡瓦布拉克群的片麻岩、混合岩、结晶片岩、石英岩、大理岩、白云岩组成。东经90°以西地区，主要岩性为结晶片岩、片麻岩、大理岩和千枚岩、白云质灰岩、变质砂岩等；以东主要为云英片岩和大理岩，沿走向岩相和厚度变化较大。

蓟县系主要出露于中天山南部，呈带状分布。上部为云英片岩、角闪片岩、变质砂岩、石英岩及大理岩；下部为白云岩、大理岩夹片岩、片麻岩等。厚度和岩相沿走向变化剧烈，变质程度不一致。

寒武系：下寒武统黄山组，分布于石英滩至天湖一带。以假整合覆于蓟县系之上。为二云石英片岩、石英片岩、石墨片岩、角闪片岩及角闪斜长片麻岩等；中一上寒武统仅见于东部破城山以北，呈条带状东西延伸，下与蓟县系呈断层接触，上与下一中奥陶统为假整合接触，岩性为硅质岩、结晶灰岩和砂页岩等；上寒武统分布于卡瓦布拉克东南一带，主要由灰岩、竹叶状灰岩、砾状灰岩夹页岩、白云岩、硅质岩组成。

奥陶系是以紫红色安山岩、英安岩和灰绿一紫红色安山岩、流纹岩为特征的岛弧火山岩，主要出露在米什沟一干沟一带。

阿奇山一雅满苏岛弧海沟系，早一中石炭世堆积了一套巨厚的火山一沉积岩，以其中的雅满苏断裂为界，其南北在沉积建造、变质程度上有明显的差别。

雅满苏断裂以南，下一中石炭统为一套由钙碱性系列的火山熔岩、火山碎屑岩、浅海相砂页岩、灰岩等组成的岛弧型火山一沉积岩建造，在阿奇山、库姆塔格、雅满苏、沙泉子一带均有分布；大断裂以北的下一中石炭世火山一沉积建造为拉斑玄武岩系列，主要为细碧岩、细碧玢岩、变辉绿岩、火山碎屑岩等，还有类复理石杂砂岩、硅质及基性杂岩体。红色碧玉建造分布较广，断续展布450km，厚度700～1000m。在该岛弧带中出露的地层从老到新有：

下泥盆统大南湖组，最大厚度2450m，主要岩性为凝灰岩、凝灰砂岩、粉砂岩、夹硅化页岩、灰岩透镜体及石英斑岩等，此外为厚层状砂岩、细砂岩夹生物灰岩和块状灰岩、灰绿色一绿色安山玢岩、凝灰角砾岩、凝灰岩及火山角砾岩。

石炭系在该区出露广泛，包括下石炭统：白山组、雅满苏组和野云沟组；中石炭统：卡拉苏组、阿衣里河组和石板山组。大部分为周围相邻地区同一层位的跨入部分。中石炭

统卡拉苏组和阿衣里河组为该区代表性的地层，主要分布于马鞍桥地区，岩性为砂岩、粉砂岩和灰岩，阿衣里河组主要为碎屑岩和灰岩。

小热泉子组分布于觉罗塔格北坡，小热泉子以北、以东和托克逊县干沟公路北段等地。主要由中性火山熔岩、凝灰岩、凝灰碎屑岩夹碎屑岩、灰岩和砾岩组成。广泛分布于阿奇山、库姆塔格、雅满苏一带的雅满苏组，其下亚组主要由灰岩、钠长－石英斑岩、霏细岩、硅质岩和凝灰质钠长斑岩组成；上亚组岩性、岩相变化大，主要由碎屑岩、碳酸盐岩和少量火山碎屑岩组成。

白山组分布于雅满苏背斜、白山向斜的翼部，库姆塔格弧形构造带南部及翠岭鱼峰一带，主要由砂砾岩、砾岩、灰岩、凝灰岩、凝灰砂岩、硅质及钙质砂岩夹石英角斑岩、安山玢岩等组成。岩相变化极大，从海底火山喷溢相的中酸性火山碎屑岩、火山熔岩到沉积巨厚的浅海相的硅、钙质沉积建造均有分布。

沙泉子组见于中天山岛弧北缘深断裂以北，通过沙泉子呈近东西向带状分布。其下亚组为基性火山熔岩、中酸性火山碎屑岩夹砂砾岩、灰岩；上亚组以中酸性－中基性火山碎屑岩、火山岩为主夹碎屑岩组成。

干墩组为深灰、灰褐色硅质岩、硅质凝灰岩、细碧岩、砂岩、石英岩、片岩夹灰岩。多以断块出露，岩性、岩相变化较大，局部变质为千枚岩、变粒岩及角闪片岩等。分布与山口车站西南至黑山口一带。

梧桐窝子组在东部分布广泛，主要岩性为基性、中酸性火山熔岩、火山碎屑岩夹碎屑岩及碳酸盐岩等，局部有硅质岩、细碧岩、角斑岩等，岩性和岩相变化较大。

底坎儿组主要由砂岩、粉砂岩、砂砾岩、灰岩、凝灰粉砂岩、凝灰岩、凝灰砂岩和硬砂岩组成，局部地区有石英钠长斑岩、安山玢岩、玄武玢岩等，在区内分布广，主要分布于阿奇山及其以西地区。上石炭统苏姆克组分布面积有限，见于觉罗塔格北坡，常构成复向斜的核部。主要由黄绿色、灰绿色凝灰碎屑岩、粉砂岩夹薄层灰岩组成。

二叠系在该区由未分二叠系、下二叠统阿其布拉克组和上二叠统大热泉子群组成。未分二叠系只见于东经 90° 与北纬 42° 交汇处，靠中天山以北。分布面积不大，它与下石炭统雅满苏组为不整合关系。岩性为灰、灰绿色薄层粉砂岩、长石质硬砂岩互层，其中有火山岩、泥灰岩、硅质岩夹层或透镜体，阿其布拉克组分布于阿其布拉克、沙尔德兰布拉克大南湖以西及雅满苏一带，出露颇广。与下伏中－下石炭统为不整合关系，有时为断层切割。主要由海陆交互的杂色碎屑岩及基性－酸性火山岩等组成。上二叠统大热泉子群分布于大热泉子、大南湖以西及雅满苏等地，由粉砂岩、砂岩、砾岩夹灰岩组成。

2.2 岩浆岩

伴随着多期次岩浆活动，在研究区内形成了一系列的侵入岩和大面积分布的火山岩。其中侵入岩广泛发育，时代包括元古代、古生代、中生代，出露岩体面积约 13000km^2，约占全区基岩面积的 1/5。其中，晚古生代岩浆活动最强烈，酸性岩类约占 86%，中性岩类约占 12%，基性一超基性岩类约占 2%。

元古代侵入岩 [24]

主要位于尾亚地区，面积约 144. 5km^2，为复式岩体，划分为横山超单元(QnH)。由老至新为石英闪长岩一斜长花岗岩一花岗闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩一碱长花岗岩单元，以二长花岗岩为主，其次为花岗闪长岩。

奥陶纪侵入岩

仅见于石燕车站以东地区，面积 48.5km^2，为复式岩体，划为石燕超单元(OS)。该超单元由老至新为花岗闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩一碱长花岗岩单元。

志留纪侵入岩

位于研究区东北部，沿镜儿泉前寒武纪地块北缘东西向展布，划为四黑山超单元(SS)。由老至新划出闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗岩四个主要单元。

泥盆纪侵入岩

分布较广，以闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩为主。北克孜尔卡拉萨依超单元((D_2B)：分布于克孜尔卡拉萨依以北的低山丘陵地区，面积约 16.3km^2，可分出闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩三个单元。

克孜尔卡拉萨依超单元：分布于康古尔塔格到卡拉萨依一带，呈北西方向展布，出露面积 288.8km^2。由老至新为闪长岩一石英闪长岩-花岗闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩单元.其中以二长花岗岩单元为主，次为钾长花岗岩单元。

大平台超单元：分布于康古尔断裂东段北侧，面积约 13km^2。岩体近东西向不规则椭圆状产出，由角闪辉长岩一闪长岩两个单元组成。

石炭纪侵入岩

广泛分布于全区，以康古尔大断裂北侧地区分布最广，有近百个呈岩基或岩株状产出的岩体。以酸性岩为主，主要有花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩。主要超单元特征如下：

小热泉子超单元：分布在小热泉子断裂以北地区，由辉石闪长岩一花岗闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩单元组成。

康古尔塔格超单元：分布于康古尔塔格一带，出露面积约 17. 6km^2。该超单元由老至新分为石英二长闪长岩一英云闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩单元。

大平台东超单元：出露在康古尔大断裂东段北缘，由含黑云母二长花岗岩单元和黑云

母二长花岗岩单元组成，总面积约 18km^2。

二叠系侵入岩

分布较广，以中酸性岩和基性一超基性岩为主，典型超单元特征如下：

克孜尔塔格超单元：分布于克孜尔塔格地区，面积约 125km^2，该超单元由老至新为石英闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩单元组成。

秋格明塔什超单元：分布在秋格明幅东南部，面积约 250km^2，岩体呈岩基和岩株，自老至新由花岗闪长岩单元一斜长花岗岩一二长花岗岩一钾长花岗岩单元组成。

尾亚超单元：由尾亚复式岩体的外环组成，总面积约 78 km^2。由老至新由碱性辉长石一石英二长闪长岩一石英正长岩一斑状钾长花岗岩单元组成，其中石英正长岩单元为主侵入相。

环形山超单元：在尾亚复式岩体的中心部位，圆形，面积 77km^2。由老至新由石英闪长岩一花岗闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩单元组成。其中以二长花岗岩单元为主体，组成较宽的外带；末期钾长花岗岩单元位于核心部位；早期的石英闪长岩及花岗闪长岩单元分布在钾长花岗岩单元的外围。

三叠纪侵入岩

仅见于秋格明塔什及其南部地带，呈岩基产出，面积约为 520km^2。为咸水沟一个超单元，由中粒二长花岗岩和钾长花岗岩单元组成。

镁铁一超镁铁杂岩:主要出露在土墩、黄山、镜儿泉一带，沿断裂带呈串珠状分布。已发现镁铁一超镁铁杂岩体 10 余处。岩体均为多相组合体，酸性端可至闪长岩，基性端可至辉长岩、辉石橄榄岩.相带分布多为同心带状，有中基外酸和中酸外基两种排列形式，但其侵入顺序均为闪长岩在先，辉长岩其次，橄榄岩最后侵入，并切穿前述各相，是反序特征。该岩体是区内铜镍硫化物矿床的含矿母岩。

2.3 大地构造背景概述

天山造山带位于塔里木地台与准噶尔一吐鲁番一哈密地块之间，东端与阿尔泰一蒙古（北山）一兴安岭造山带相连，并与阿尔金一祁连山造山带相联系；西端与帕米尔和昆仑造山带相接。自 20 世纪 70 年代以来，许多科研工作者对新疆大地构造的研究投入了大量的工作，尤其是对新疆北部地区的板块构造进行实地研究，目前还存在很多不同的认识：马瑞士等（1993）曾认为东天山地区存在着沟弧盆体系，他们认为康古尔-黄山一带的基性超基性杂岩体属阿拉斯加蛇绿岩，北侧的岛弧为博格达-哈尔里克山岛弧，南侧是一个复式岛弧，二者之间有一个碎屑岩构成的弧间盆地[25]。何国琦等（1994）等认为在新元古代 Rodinia 超大陆裂解之后，新疆处于一种小洋盆多陆块间杂的板块构造体制，中泥盆世末

碰撞造山运动导致了新疆北部及哈萨克斯坦地区板块构造体制的终结，晚泥盆世开始进入碰撞造山期板内伸展阶段，在新疆北部形成一系列晚泥盆世-石炭纪裂谷或裂陷槽，东天山地区尤为显著[26]。姬金生等（1994）认为东天山地区石炭纪时存在着沟弧盆体系和双向俯冲，康古尔-黄山蛇绿岩带代表古洋盆，向南北两侧的双向俯冲分别形成雅满苏岛弧和博格达-哈尔里克岛弧[5]。肖序常，汤耀庆、冯益民等（1992）将新疆北部划分为西伯利亚、哈萨克斯坦、（包括其间所夹的塔城、将军庙、荒草坡、博罗等地体）、塔里木（包括阿克苏、库鲁克塔格地体）三个一级板块[27]；胡霭琴、张国新、李启新等（1993）根据同位素地质年代学及铷同位素示踪，认为新疆北部存在四个具有不同时代基底的大陆陆块—塔里木地块基底、天山地块基底、准噶尔地块基底、阿尔泰地块基底[28]。

本文对东天山大地构造采用马瑞士等的划分方案，略做修改。以阿其克库都克缝合碰撞带为界，北部为哈萨克斯坦-准噶尔板块，南部为塔里木板块，在研究区共划分为2个I级构造单元，5个II级构造单元，6个III级构造单元，如表2-1图2-1，

表2-1 东天山构造单元划分

I级构造单元	II级构造单元	III级构造单元
I哈萨克斯坦-准葛尔板块	I_1吐哈中新生代盆地	
	I_2准噶尔板块南缘活动带	I_2^1大南湖古生代岛弧带
		I_2^2哈尔里克古生代岛弧带
		I_2^3觉罗塔格石炭纪沟弧带
塔里木板块（I）	II_1卡瓦布拉克-星星峡地体	
	II_2塔里木北缘活动带	II_2^1艾尔宾晚古生代残余盆地
	II_3塔里木陆块	II_3^1库鲁克塔格陆缘地块
		II_3^2北山古生代裂谷带

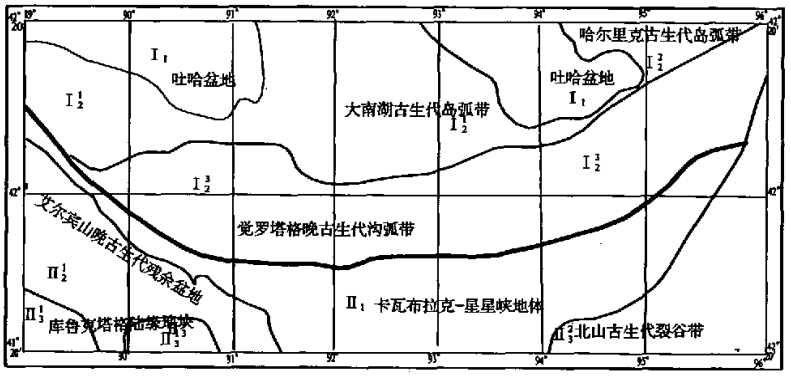


图1-1　东天山构造分区图

哈萨克斯坦-准噶尔板块（I）

区内分为吐哈中新生代盆地（I_1）和准噶尔板块南缘活动带（I_2）两个二级构造单元。后者可划分为大南湖古生代岛弧带（I_2^1）、哈尔里克古生代岛弧带（I_2^2）、觉罗塔格石炭纪沟弧带（I_2^3）。

塔里木板块（I）

区内分为卡瓦布拉克-星星峡地体（II_1）、塔里木北缘活动带（II_2）、塔里木古陆块（II_3）三个Ⅱ级构造单元并进一步分解为艾尔宾晚古生代残余盆地（II_2^1）、库鲁克塔格陆缘地块（II_3^1）、北山古生代裂谷带（II_3^2）三个Ⅲ级构造单元。

2.4 构造演化

东天山地区地质构造复杂，经历了漫长的地史演化[29]。中晚太古代形成了塔里木古陆核，在早元古代围绕太古界陆核或陆核间，出现广阔的浅海环境，出现了成熟度高的陆缘碎屑岩和碳酸盐岩沉积；早元古代末的吕梁活动，使其褶皱变形，花岗岩类侵位，区域动力热流变质作用，使岩石产生混合岩化和出现低角闪岩相一高绿片岩相变质，这期运动形成了塔里木原始古陆；在中元古代早期塔里木古陆核开始解体，在塔里木古陆北缘出现新元古代南天山洋，使卡瓦布拉克一星星峡等地块从塔里木大陆裂解漂移于洋盆之中；中晚元古代围绕古陆核边缘形成稳定的海相沉积。

早古生代，可分出北天山洋和南天山洋。北天山洋在卡瓦布拉克一星星峡地块至准噶尔一吐哈地块之间，包括北天山、吐哈地块南缘至东北缘；南天山洋在卡瓦布拉克一星星峡地块与塔里木古陆块之间。此时，以塔里木古陆核和准噶尔一吐哈古陆核为中心在其边缘继续形成稳定的海相沉积，形成了各自的板块，总体处于拉张环境。中奥陶世时，由于塔里木和准噶尔两大板块的相向挤压，在吐哈地块南缘和东北缘，即在大南湖和哈尔力克山一带，出现岛弧型海相细碧角斑岩建造一中酸性火山岩建造；在觉罗塔格地区未见沉积和岩浆活动；在卡瓦布拉克一星星峡地块有少量寒武系的稳定海相沉积，出现了奥陶纪花岗闪长岩一二长花岗岩一钾长花岗岩一碱长花岗岩；在南天山艾尔宾山地区，处于拉张环境；在北山地区，为稳定的海相沉积。

志留纪一泥盆纪，塔里木和准噶尔两大板块的相向挤压。在大南湖和哈尔力克山一带仍为火山岩、火山碎屑岩，出现了中泥盆世低钾钙碱性花岗闪长岩系列，晚泥盆世有典型的低钾钙碱系列的造山花岗岩，局部出现陆相环境;在觉罗塔格地区未见出露；在卡瓦布拉克一星星峡地块，未见沉积，可能在志留纪末该区上升为陆，泥盆纪出现了闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩;在南天山额尔宾山地区，晚志留纪一早泥盆世为半深海相碎屑岩，少量中酸性火山岩，中、晚泥盆世为残余海相碎屑岩一碳酸盐岩建造；在塔里木板块的库鲁克塔格地区，志留纪为滨海潮间带沉积，泥盆纪上升为陆。

到石炭纪，早期东天山地区进一步拉张，海域扩大，中期开始缩小，晚石炭世早中期塔里木和准噶尔两大板块的相向挤压，洋盆消失，形成了统一的板块，晚期为残余海环境，进入了板内演化阶段。在大南湖和哈尔力克一带，早期仍然处于岛弧环境，晚期在康古尔、土屋一带晚石炭世陆相碎屑岩，其它地区为海相，出现花岗岩链；觉罗塔格地区北带具有海沟一弧前盆地环境，出现蛇绿岩套上部成分，中期汇聚而形成海沟洋壳残片的混杂岩。南带为岛弧环境，有大量的海相中基性火山岩及其碎屑岩，晚石炭世形成了花岗岩链；在卡瓦布拉克一星星峡地块大部分地区主要为岩浆弧，只在星星峡一带出现石炭纪岛弧火山岩一碎屑岩一碳酸盐岩建造；在南天山额尔宾山地区，早石炭世仍为残余海盆地环境；在北山地区，出现了大量的双峰式火山岩、花岗岩、基性一超基性杂岩;在塔里木板块的库鲁克塔格地区，局部出现陆棚浅海相碳酸盐岩，晚石炭世上升为陆。

二叠纪，东天山地区绝大部分为陆相环境，局部地段仍有残留海盆。早期处于新板块形成的初期，出现松弛阶段，沿原深大断裂带出现裂谷环境。在阿其克布拉克一大热泉子一带，形成海陆交互相杂色碎屑岩、火山岩、磨拉石建造；在康古尔塔格、南湖戈壁一带，形成陆相基一酸性火山岩建造；沿康古尔一黄山古海沟剪切带出现了基性一超基性杂岩，形成与其有关的铜镍矿床;在北山地区，早二叠世仍处于裂谷环境，早二叠世后该区上升为陆，进入了板内陆相演化阶段。

中生代时期，该区处于板内伸展构造环境，大南湖、哈尔力克、觉罗塔格、卡瓦布拉

克一星星峡、库鲁克塔格地区为剥蚀区，在吐哈地块和南天山艾尔宾山接受了巨厚沉积..。三叠纪处于比较干旱环境。侏罗纪，出现潮湿热带环境，此时有大量的森林，中下侏罗统形成含煤系地层。白垩纪一老第三纪再次处于干旱的环境，新第三纪以来，伴随博格多山、哈尔里克山、卡瓦布拉克一星星峡山的抬升，山体向盆地方向发生逆冲。并出现了盆地中火焰山等构造推覆体。第四纪早期博格多山、哈尔里克山、卡瓦布拉克一星星峡山大规模抬升，形成了当今之地貌特征。

2.5 断裂构造系统

研究区的断裂可分为三组[29]，中部为近东西向展布，东段为北东向分布，而西段为北西向分布：

康古尔大断裂

西起小热泉子西，经黄山北，呈近东西向波状延伸，向东经镜儿泉北延入甘肃省，属深大断裂，是大南湖古生代岛弧带与觉罗塔格石炭纪沟弧带的分界线。该断裂带与区域重力梯度带一致，并位于区域航磁磁力高与磁力低的过渡带上。可可托海一甘肃阿克塞人工爆破地震测深剖面证实该断裂带位于慢隆与慢坳分界线，两侧莫霍面深度变化大(4-12km) 。该断裂带控制了东天山地区重要有色、贵金属的分布.沿该断裂带分布有小热泉子铜矿、土屋、延东铜矿、黄山一带铜镍矿等;与该断裂带一道形成的康古尔一黄山韧性剪切带，控制了康古尔、马头滩、石英滩等金矿的形成和分布。

阿其克库都克深大断裂

属超岩石圈断裂，是哈萨克斯坦一准噶尔板块与塔里木板块的缝合碰撞带.沿阿其克库都克到沙泉子近东西向延伸，贯通全区，西端转向北西，东段略转向北东东向.该断裂以北为为石炭系火山岩建造，而以南为前寒武纪变质基底。沿该断裂带，现发现了彩霞山铅锌矿等一系列与前寒武纪沉积及热液改造的铅锌矿和沉积变质一热液改造叠加型铁矿。

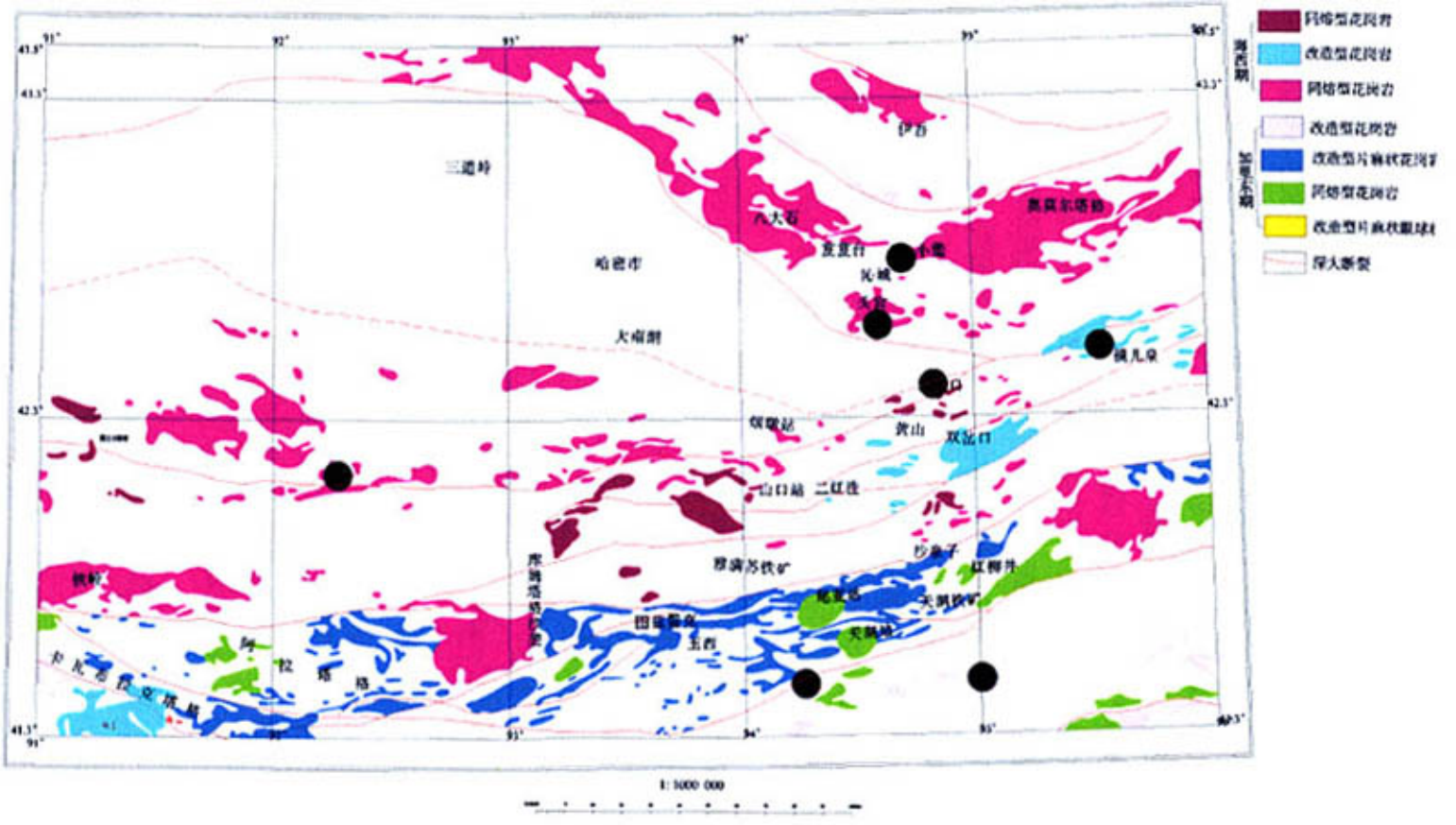
第三章　花岗岩体地质特征

本研究所收集的样品分布如图 3-1 所示，表 3-1 列出各样品的位置、样品数以及含矿性。

3-1 样品位置及岩石类型

岩体名称	经纬度	岩石类型	含矿性	样品个数
三岔口岩体	94.83°，42.4°	斜长花岗岩	含铜	11
金窝子岩体	94.26°，41.5°	花岗闪长岩	含金	4
土屋岩体	92.25°，42.16°	斜长花岗斑岩	含铜	7
照壁山	95°，41. 5°	黑云母碱长花岗岩	含金	2
小铺矿区	94.73°，42.85°	花岗斑岩 斜长花岗岩	含铜	2
依格尔大阪	89°，42°	二云母花岗岩 黑云母花岗岩 花岗闪长岩		4
小堡东	94°， 2.56°	黑云母花岗岩		6
镜儿泉岩体	95.91°，42.16°	白云母花岗岩		5
双岔沟岩体		斜长花岗岩 花岗闪长岩 二长花岗岩		6
阿拉塔格		斜长花岗岩		2
小热泉子	84.4°，42.35°	碱长花岗斑岩		3

东天山花岗岩分布略图



3.1 花岗岩体特征

3.1.1 含铜矿花岗岩岩体特征

土屋岩体[24]：土屋斜长花岗斑岩，出露 23 个面积大小不等的斑岩体，出露面积最大的约 0.03km^2，其余单个面积均小于 0.01km^2，平面形态多呈不规则状，所有岩体均全岩孔雀石化。围岩地层为含砾砂岩和玄武岩，局部被第四系和侏罗系地层覆盖，含砾砂岩围岩具明显的褪色现象。岩体岩石特征为残余斑状结构，残留斑晶有石英、斜长石和黑云母；基质残余半自形粒状结构，具硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化等蚀变。

三岔口岩体[30]：三岔口岩体位于康古尔塔格－黄山－镜儿泉深大断裂上，该断裂带为一复杂的构造－岩浆活动带，断裂活动强烈，岩浆侵入活动频繁。因而沿断裂带侵入岩分布极为广泛，岩石种类繁多，三岔口岩体为一复式岩体，为海西中期分三期次侵入的侵入岩组成，面积约 65km^2。

小铺矿区：岩体产与一中酸性复式杂岩体中，主要沿近东西向长轴背斜侵位，构成近东西向岩体形态多呈岩脉状、岩枝状插入石英闪长玢岩体中，出露宽度为 0.6~0.8km，东西长约 500m。

3.1.2 含金矿花岗岩岩体特征

金窝子岩体[30]：金窝子岩体位于新疆哈密市星星峡镇东 30km，大地构造位置属于塔里木板块北山裂谷北带。金窝子岩体出露仅 4km^2。岩体侵入于上泥盆统金窝子组的一套火山岩－沉积碎屑岩中，沿金窝子主背斜轴部出露，岩体围岩为上泥盆统金窝子组第 1.、第 2 岩相段千枚岩、含砾沉凝灰岩、沉凝灰岩、凝质灰质砂岩夹 10～50cm 厚的灰岩。岩体两侧接触带岩石破碎，北接触带产状为倾向 235°，倾角 70°，南接触带产状为倾向 155°，倾角 50°～60°，岩体沿北东 65°方向展布，长 5.5km，宽 0.7km，呈长舌状，面积 4km^2。

照壁山岩体[31]：照壁山岩体呈长纺锤状，自北向南侵位于公婆泉群火山－沉积岩地层，岩体南北两侧外倾，倾角 35～50°，东西长约 2km^2，平面上为不规则状矩形，沿岩体与围岩接触带分布有宽窄不等的黄铁绢英岩化和褐铁矿化带，其内产出有一系列含金石英细脉；另外，在岩体的边缘地带，也可观察到许多规模大小不等和形态各异的火山－沉积岩围岩残块。

小铺矿区：岩体产与一中酸性复式杂岩体中，主要沿近东西向长轴背斜侵位，构成近东西向岩体形态多呈岩脉状、岩枝状插入石英闪长玢岩体中，出露宽度为 0.6~0.8km，东

西长约 500m。

3.1.3 不含矿岩体特征

双岔沟岩体[32]：位于黑山口南侧的双岔沟岩体，在 1：20 万区调报告中称之为野马泉岩体，因有沟于岩体处分岔，故以现名称之（工润民等，1985）。岩体出露面积大于 150km^2，呈东西两端不平整的似长方形，定位于浅变质的干墩组，其长轴方向与区域构造线一致，岩体与围岩界线大多清晰，但在接触带附近，围岩受明显接触变质和边缘混合岩化；混合岩化程度尤以岩体西侧为甚，形成一条长约 16km，宽约 5km 的混合片麻岩带。岩体为一个多阶段复式岩体，从早到晚各阶段侵入的岩性依次分别为黑云母斜长花岗岩、黑云母花岗闪长岩和黑云母二长花岗岩。这三个主要岩相形成后，多期次长英质脉状体发育较普遍。在复式岩体的东部，由花岗细晶岩墙呈 NE 向侵入于斜长花岗岩中，岩墙长约 4km、宽 200～300m。在复式岩体北部，可见不同期次长英质岩脉互相截切，其宽 5～200cm 不等，多数为 30～40cm；走向以 NE 为主，次为 NW；与围岩界线清晰。部分花岗伟晶岩脉具有清楚的分带，自中心往脉壁依次为块状石英带、文象花岗岩带和细晶岩带，未见金属矿化。复式岩体北部个别地段花岗闪长岩中还可见花岗细晶－伟晶质交代体，其范围约数十米，边界不规则，并与主岩相过渡，交代体中富含白云母和石榴石团块。此外，尚可见到辉绿岩和煌斑岩墙。

镜儿泉岩体：镜儿泉花岗岩均为近东西走向的长条状中、小型岩株，分布范围与镜儿泉超镁铁岩带基本一致。这个带的中石炭统干洞组和梧桐窝子组地层普遍受到绿片岩相至角闪岩相变质，局部地段受较强混合岩化而形成混合片麻岩。岩体与围岩接触界线清晰，局部见到与混合片麻岩的过渡关系。在整个带上，伟晶岩脉和石英脉比比皆是。在镜儿泉，可见到被白云母花岗岩捕虏的超镁铁岩被分割成若干孤岛状捕虏体，而各“孤岛”均受强烈硅化和碳酸盐化，这些关系表明，二云母花岗岩定位于超镁铁杂岩体形成之后。

小堡东岩体：产于受轻微变质的的泥盆－石炭纪火山－沉积岩系中，岩体延长方向与区域构造线一致，呈岩株－岩基状产出，出露面积达 1000km^2，是多阶段侵入的复式岩体花岗岩体。

头宫岩体：本区花岗岩体绝大多数产在受轻微变质的泥盆—石炭纪火山沉积岩系中，岩体延长方向多与区域构造线一致 ，呈岩株—岩基状产出，有些较大的岩基，是多阶段侵入的复式岩体，通过同位素测量得出此带花岗岩主要形成于海西早—中期，而绝大多数是海西中期构造热事件的产物。

从以上描述可以看出，含矿岩体通常为岩株状的小岩体，并且大多沿破碎带侵入。

3.2 花岗岩岩石学特征

3.2.1 含铜花岗岩岩石学特征

土屋花岗岩体[33]

成矿斑岩一斜长花岗斑岩为浅红褐色一灰绿色、灰白色，斑状结构，斑晶为斜长石、石英、黑云母(片状集合体)，基质为残余半自形粒状结构，由斜长石、石英、黑云母等组成，副矿物有磷灰石、锆石等。斜长花岗斑岩后期蚀变为强硅化、绢英岩化、碳酸盐化和绿泥石化等。岩石具典型的含矿斑岩特征.被众多的石英硫化物和黑云母一绿泥石一硫化物细脉穿切，有时可见碳酸盐、硬石英和含少量硫化物细脉。

三岔口含铜（钼）花岗岩体[34]

斜长花岗岩：呈灰白色，块状、条纹状构造。岩石具碎斑状花岗结构。矿物成分由斜长石、石英、黑云母组成，具较强的蚀变。碎斑由斜长石及石英组成，斜长石碎斑最大直径达 4mm,一般在 2~4mm 之间，外形不规则，边缘破碎，常被钠长石交代形成交代边，碎基以碎粒斜长石和石英为主，斜长石具强烈的绢云母化及帘石化,副矿物组合为磁铁矿一钛铁矿一锆石一磷灰石一榍石型，偶见金红石。其中主要矿物特征描述如下：

1. 斜长石：斜长石在岩石中占 40%~45%，呈半自形粒状晶，粒度 0.5~1.8mm，由石英交代形成的浑圆状孔洞发育。斜长石成分中以中长石为主，还有少量更长石，岁半斜长石中多见发育环带构造。

2. 钾长石：在岩石中含量为 10%~15%，主要分灰白色，半自形~他形粒状产物。大部分具明显的泥化，普遍发育固溶体分解形成的正条纹结构，粒度为 0.4~1.0mm 左右，亦有较多的石英交代穿孔现象。

3. 石英：在岩石中石英含量约为 35%~40%，呈他形粒状，粒度一般为 0.3~1.6mm，局部有碎粒状特征。充填于长石间，硅化交代十分明显，常见呈网格状沿裂缝交代、穿孔状交代。

4. 黑云母：黑云母在岩石中的含量约为 10%~20%，呈自形鳞片状或与岩石、石英相间排列或成聚片状定向分布。常见黑云母定向排列，形成岩石的片理货片麻理 ，黑云母常被绿泥石交代，

5. 角闪石：角闪石在岩石中约占 3%左右，含量较少，呈半自形粒状，粒度在 0.1~1mm 之间，具绿-亮绿-黄绿色多色性，具定向排列，显示流动构造

小铺铜矿区花岗斑岩：该岩体的主要特征为灰白色，具斑状结构，主要矿物成分为：斑晶由钾长石和石英组成，其中石英（8%~10%）,为灰白色，表面干净，被溶蚀成浑圆状

或港湾状，仅个别发育为良好斑晶，其斑晶大小为0.5~1.5mm，钾长石（8%~10%），主要为正长纹长石，有少量正长石及微斜条纹长石，多呈聚斑状形式存在。基质主要由微粒石英和长石组成。

3.2.2 含金花岗岩岩石学特征

金窝子岩体从东到西无明显分带现象，呈渐变关系，由花岗闪长岩相组成。地表岩石蚀变较强，岩石呈灰色，花岗结构，块状构造。镜下鉴定矿物成分为：斜长石占35%～48%，半自形粒状，微斜长石5%～10%，呈不规则状，常具条纹双晶或格子双晶；石英占15%～20%，呈他形粒状；黑云母占15%～30%，片状。副矿物有锆石、磷灰石、黄铁矿、磁铁矿、独居石、石榴子石、钛铁矿、绿帘石、黑钨矿、黑电气石、磷钇矿、黄铜矿和自然金。岩体内脉岩非常发育，有辉绿岩脉、闪长岩脉、花岗岩脉及许多石英脉。花岗闪长岩为不等粒、包裹结构，斜长石颗粒大小不等，其中可见包裹一充填有石英及黑云母，薄片中可见细碳酸岩脉不规则贯入长石中，在脉体附近，斜长石聚片双晶可见被弯曲的现象。

照壁山黑云母花岗岩为灰白一砖红色，不等粒结构，块状构造，主要矿物组分为斜长石（20%～30%），微斜长石（20%～25%），石英（35%～45%）和黑云母（3%～5%），副矿物组合为磁铁矿、榍石和锆石，岩体局部地段热液蚀变明显，部分斜长石为绢云母和泥质斑点所取代，仅保留有斜长石晶体假象；此外，次生钾长石对斜长石以及绿泥石对黑云母的交代蚀变现象亦较常见，石英次生加大现象也十分明显。

3.2.3 无矿花岗岩岩石学特征

双岔沟岩体：

1.石英：多呈他形粒状。

2.斜长石：呈自形—半自形，钠长石双晶发育，常具环带构造，各岩相斜长石均不同程度地遭受绢云母化。

3.钾长石：均呈他形粒状，普遍可见格子双晶和不规则状钠长石条纹。

4.黑云母：镜下呈明显地褐至褐绿色多色性，多自形鳞片状，常不同程度地遭受绿泥石化。

5.锆石：无色至浅黄色，棱角至次棱角状。粒长多0.2至0.4mm,.有时可见磷灰石及气液包体

6.石榴石：手标本上显玫瑰红色，呈星点状，团块状，脉状分布于岩体中

镜儿泉岩体

白云母花岗岩均呈灰白色，二云母花岗岩则往往带有浅粉红色色调，绝大部分呈块状构造，在镜儿泉地区也有部分岩体具有片麻理。岩石一般呈中粒花岗结构，主要矿物有白

云母（有时有少量黑云母），石英、更长石和微斜长石；经常出现石榴石。矿物含量 如下表

1. 石英　以他形粒状为主，波状消光现象十分常见，气液包体大量存在，蠕英石普遍出现

2. 斜长石　斜长石可分为两个世代，第一个世代斜长石为最早结晶的矿物，多为宽板状自形-半自形晶，具聚片双晶，成份主要为更长石，含少量中长石。第二世代斜长石呈糖粒状产于其余造岩矿物之间，具细密聚片双晶。

3. 钾长石　皆为微斜长石，发育格子双晶和大量交代条纹（条纹长石），有时可见波状消光，其中常包含有 斜长石、石英、白云母等矿物。

4. 白云母　呈半自形鳞片状，在岩石中均匀散布，局部聚集成团块，部分晶体显示 波状消光和解理面弯曲。

5. 石榴石　石榴石在手标本上显蔷薇红色，呈 1mm 左右的自形晶均匀散布，电子探针分析其成分属锰铝榴石—铁铝榴石系列。

6. 副矿物　此岩体副矿物总量较低，种类较少；以磁铁矿占绝对优势，缺乏稀土、稀有和放射性元素副矿物。

头宫岩体

各种岩石特征是：青灰、浅灰至浅肉红色，块状构造和中至粗粒等粒结构，岩体边部有时可见中细粒边缘相，在少数岩体边部可见流动构造；个别岩相具似斑状结构。花岗岩体的自变质和交代蚀变较普遍，其中钾长石化石花岗岩内最广泛的一种蚀变类型。钾长石化往往沿岩石节理或破碎带首先发生，呈线型分布；蚀变强烈的时也可呈面型，此时整个岩相呈现肉红色。岩体矿物学特征如下：

1. 斜长石　花岗岩中斜长石以更长石为主，部分岩体中钠含量较高而成分接近钠长石。斜长石多呈自形—半自形板状晶体，聚片双晶发育，个别颗粒具环带结构，与钾长石接触处常见蠕英结构。在石英闪长岩和石英二长岩中，斜长石多为更—中长石，自形程度好，环带结构清楚，核部常受轻度绢云母化。

2. 石英　石英多呈他形粒状，但常因熔蚀而呈浑圆状，并具港湾状边缘；与斜长石组成的蠕英结构常见，在岩体边部常与钾长石呈微纹象结构或花斑状交生。花斑结构中的部分石英结构可与钾长石主晶外侧的粒状石英相连。同一个钾长石主晶中的石英交生体消光方位也常不一致，表明这些石英与钾长石在光性方位上并无固定关系；它们不是熔体中共结的产物，而是由先存的粒状石英受钾长石化而成。经应力作用的石英常具波状消光，并出现裂纹；应力较强部位具有碎裂结构和亚颗粒生成。

3. 钾长石　钾长石在花岗状结构岩石中，原生钾长石的结晶一般晚于斜长石，与石英接近同时较之稍晚，而在似斑状结构岩石中，钾长石可最早晶出且呈粗大的斑晶。在等

粒状花岗岩和似斑状花岗岩基质中，钾长石呈浅粉红色，多呈半自形—他形板状晶体，普遍发育宽度不等的钠长石条纹，较宽条纹中的钠长石可具细密而清晰的聚片双晶。钠长石条纹显然有固溶体。

小热泉子岩体

岩石灰绿色或浅红褐色，斑状结构，块状构造。长石斑晶为板状，长 1~3mm，以 2mm 左右为主。为灰白色或肉红色，有的呈二者过渡关系。约占岩石的 15%~20%。基质多为灰绿色，隐晶质或呈微粒状。约有 5%~10%的短柱状黑绿色角闪石。显微镜下，斑状结构，钠长石斑晶为主。矿物组成为钠长石（60%~80%），石英（20%~40%），角闪石（2%~10%）及少量黑云母。副矿物主要有绿帘石，锆石。

3.2.4 三类花岗岩岩石学差异

由以上岩石学特征，对比各类花岗岩矿物含量如下表 3-2。从表中数据分布可以看出，三类花岗岩相同岩性条件下，含矿岩类的黑云母和角闪石的含量普遍高于不含矿岩类。由于黑云母和角闪石是造岩矿物中的主要含水矿物，而在成矿作用中，含水矿物是成矿流体的来源之一，对成矿有很大的贡献作用[35]。因此，较高的黑云母（15%）和角闪石含量是含矿岩体的特征之一。并且在含铜岩体中常出现孔雀石化。

表 3-2 造岩矿物含量表

岩体名称	岩石名称	矿物含量（vol%）				
		斜长石	钾长石	石英	黑云母	角闪石
三岔口岩体	斜长花岗岩	40-45		35-40	10-20	3
金窝子岩体	花岗闪长岩	35-48		15-20	15-30	
土屋	斜长花岗斑岩	30-40		30-40	15-30	5
照壁山	黑云母碱长花岗岩	20-30		35-45	3-5	
小铺矿区	花岗斑岩			20-40	少量	2-10
依格尔大阪	二云母花岗岩			25-30	1-5	
	黑云母花岗岩		35（钾长石）	25	4	
	花岗闪长岩	41		22	15	
小堡东	黑云母花岗岩	27（20）	35	33	4	0
头宫	钾长花岗岩	0	63	24	2	8

镜儿泉岩体	白云母花岗岩	12（28-32）	46	29		
双岔沟岩体	斜长花岗岩	49（30-47）	4	29	16	
	花岗闪长岩	42（26-35）	12	29	15	
	二长花岗岩	42（24-35）	26	29	7	

另外，从各岩体的岩石学特征描述来看，各岩体主要的蚀变类型为绿泥石化、黄钾铁钒化、硅化、绢云母化、帘石化、碳酸盐化等。但是含矿岩体的蚀变程度普遍高于不含矿岩体。

3.3 花岗岩岩石化学特征

3.3.1 含矿花岗岩岩石化学

从 3-1 表中，可以看出，东天山含矿花岗岩的岩石化学特征：SiO_2 含量为 61.27%~74.96%，平均含量 66.73%，MgO 为 0.2%~2.8%，平均含量 1.32%。跟新疆北部花岗岩平均值[8]比较可以看出，K_2O 含量明显偏低，但是 CaO、MgO 及全铁含量相比偏高，特别是 CaO 约为平均值的两倍多。基性成分相对比较多，δ 为 0.74~2.47，平均值为 1.36，属于钙性花岗岩。碱度率 AR 变化范围从 1.69~5.92，属钙碱性和碱性岩石。

3.3.2 无矿花岗岩岩石化学

根据表 3-2 中数据，该类花岗岩的岩石化学特征是，SiO_2 含量为 69.92%~76.36%，MgO 为 0.2%~0.39%，表现出岩石成分偏酸性，基性成分含量比较少，跟新疆北部花岗岩平均值[8]差别不大，表现为碱度普遍比较低。δ 为 1.31~2.94，平均值为 1.924，属钙碱性岩石[36]。碱度率 AR 变化范围从 1.69~4.03，属钙碱性和碱性岩石。

3.3.3 两类花岗岩岩石化学差异

因为岩石化学数据各项指标的数量差距比较大，如果不加以处理，就不能明显反映出

表 3-3 含矿花岗岩氧化物及部分指数表（%）

地区	样号	岩石名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	DI	A/CNK	SI	AR	s43
三岔口铜矿	I-1	斜长花岗岩	64.06	0.4	16.58	3.24	2.13	0.069	0.77	4.8	4.77	0.71	0.2	89.55	0.96	6.7	1.69	1.39
	I-7	斜长花岗岩	65.06	0.38	16.19	2.64	2.46	0.084	1.25	4.94	3.88	0.48	0.18	88.06	1.02	11.77	1.52	0.84
	I-2	斜长花岗岩	63.48	0.42	17.11	2.04	2.94	0.086	1.74	5.52	3.85	0.1	0.21	86.33	1.04	16.37	1.42	0.74
	II-5	斜长花岗岩	64.49	0.39	15.46	3	2.81	0.12	1.6	5.38	3.2	0.99	0.17	86.53	0.96	13.92	1.5	0.8
	III-2	斜长花岗岩	61.42	0.5	17.95	2	3.03	0.086	1.78	4.8	4.24	0.82	0.22	85.37	1.08	15.02	1.57	1.34
	III-5	斜长花岗岩	64.46	0.44	15.97	1.41	3.66	0.086	1.71	5.81	4.3	0.3	0.21	85.45	0.89	15.03	1.54	0.97
	Y-1	斜长花岗岩	63.38	0.47	17.24	2.63	3.25	0.22	1.78	4.02	3.76	0.41	0.22	81.9	1.24	15.13	1.49	0.83
	Y-3	斜长花岗岩	61.27	0.47	17.58	2.56	3.74	0.22	1.78	6.3	3.91	0.44	0.25	85.09	0.96	14.37	1.45	1.02
	Sc-1	斜长花岗岩	63.71	0.44	18.19	1.35	3	0.072	1.39	5.43	4.62	0.89	0.16	89.36	0.99	12.36	1.61	1.45
土屋铜矿	czy6-m	斜长花岗斑岩	73.03	0.05	11.67	0.5	0.71	0.14	0.41	3.82	5.53	0.93	0	90.66	0.68	5.07	2.43	1.37
	czy7-m	斜长花岗斑岩	69.45	0.22	13.5	1.05	1.38	0.11	0.88	2.75	6.39	1.03	0	90.49	0.81	8.2	2.68	2.04
	TW28	斜长花岗斑岩	70.65	0.28	15.57	1.18	0.2	0.02	1.06	0.9	7.36	0.94	0.11	94.13	1.06	9.92	3.03	2.47
	rbch-1	斜长花岗斑岩	71.27	0.17	16.24	1.35	0.2	0.04	0.9	0.8	6.1	0.68	0.1	90.99	1.33	9.83	2.32	1.61
	rbch-2	斜长花岗斑岩	71.87	0.1	14.77	1.7	0.4	0.02	0.7	0.3	5.2	1.32	0.09	90.49	1.40	7.58	2.53	1.45
	T-4	斜长花岗斑岩	65.32	0.26	15.43	0.4	2.15	0.09	0.73	5.62	1.74	1.39	0.13	91.74	1.06	11.39	1.35	0.42
	T-71	斜长花岗斑岩	69.35	0.71	15.66	0.17	1.05	0.11	0.55	2.77	4.15	2.11	0.13	93.9	1.11	6.85	2.03	1.46
	zk705	斜长花岗斑岩	72.28	0.21	13.23	1.34	1.78	0.11	1.33	1.45	3.42	1.91	0.11	88.41	1.28	13.62	2.14	0.96
	zk004	斜长花岗斑岩	67.5	0.24	14.8	0.87	1.72	0.08	0.75	3.4	4.21	0.97	0.12	92.62	1.05	8.8	1.8	1.47
小铺矿区	Pw-1	花岗斑岩	71.46	0.16	11.61	0.59	2.21	0.05	0.69	1.11	4.76	3.74	0.09	90.16	0.84	5.75	5.03	1.50
	D07-1	斜长花岗岩	74.1	0.16	11.61	0.39	2.65	0.02	1.16	0.4	2.54	6	0.04	91.44	1.02	9.11	5.92	1.53
金窝子	XSi-46	花岗闪长岩	62.76	0.6	16.72	1.65	2.97	0.04	2.8	5.66	3.36	0.9	0.23	84.85	1.00	23.99	1.47	1.55
	XSi-47	花岗闪长岩	60.7	0.69	18.23	1.1	3.98	0.09	2.45	4.82	3.2	1.8	0.38	81.04	1.14	19.55	1.55	1.58
	SH105	花岗闪长岩	63.31	1.01	14.69	1.73	5.6	0.1	2.31	2.86	2.84	2.88	0.28	78.93	1.13	15.04	1.97	1.68
	SH110	花岗闪长岩	63.91	1.02	14.94	1.56	5.6	0.1	2.41	2.8	2.84	3.12	0.27	78.93	1.14	15.52	2.01	1.63
照壁山	ZJ-4	黑云母碱长花岗岩	74.96	0.22	13.29	0.85	0.77	0.05	0.2	0.3	3.37	3.88	0.02	94.04	1.29	2.21	3.29	1.66
	ZJ-5	黑云母碱长花岗岩	73.92	0.19	13.76	0.4	1.31	0.08	0.4	0.5	4.73	2.97	0.02	94.11	1.16	4.08	3.35	1.68

表 3-4 不含矿花岗岩氧化物及部分指数表（%）

地区	样号	岩石名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	DI	A/CNK	SI	AR	σ 43
镜儿泉岩体	361-88	白云母花岗岩	74.75	0.05	14.29	0.36	0.36	0.19	0.08	0.57	5.07	3.5	0.16	96.62	1.09	0.85	3.72	2.31
	362-88	白云母花岗岩	76.36		14.4	0.3	0.59	0.2	0.12	0.39	4.05	3.85	0.15	94.52	1.25	1.35	3.29	1.87
	364-88	白云母花岗岩	75.13		14.05	0.36	0.37	0.16	0.12	0.29	3.82	4.15	0.08	95.28	1.24	1.36	3.5	1.97
	368-88	白云母花岗岩	73.1	0.05	15.86	0.37	0.4	0.14	0.04	0.33	4.46	4.42	0.12	94.93	1.25	0.41	3.43	2.61
	369-88	白云母花岗岩	76.33	0.05	13.54	0.24	0.38	0.03	0.24	1.34	3.95	3.73	0.08	97.53	1.04	2.81	3.13	1.77
小堡东	680-59	石英二长岩	63.32	0.82	16.21	1.88	3.05	0.11	2.14	3.71	3.86	3.35	0.2	86.81	0.97	14.99	2.13	2.52
	678-59	黑云母二长花岗岩	66.62	0.61	15.5	1.77	2.39	0.14	1.28	3.11	4.03	2.73	0.18	89.55	1.02	10.5	2.14	1.91
	667-59	黑云母花岗岩	73.54	0.18	13.82	0.66	1.32	0.07	0.26	1.82	3.68	3.77	0.06	95.64	1.03	2.68	2.82	1.81
	700-59	黑云母花岗岩	70.72	0.35	14.99	0.85	2.19	0.1	0.46	2.5	4.21	2.59	0.09	92.82	1.05	4.47	2.27	1.66
	671-59	似斑状黑云母花岗岩	74.78	0.18	13.24	0.73	0.43	0.05	0.2	1.14	3.6	4.39	0.05	97.14	1.04	2.14	3.5	2
	724-57	二云母花岗岩	73.5	0.17	14.34	0.06	0.89	0.03	0.25	0.8	4.08	3.76	0.08	95.02	1.17	2.77	3.15	2
	782-58	钾长花岗岩	72.56	0.29	13.82	0.99	1.27	0.07	0.36	1.14	4.47	3.89	0.07	95.4	1.01	3.28	3.53	2.35
	796-58	钾长花岗岩	71.04	0.27	14.21	1.24	1.73	0.12	0.26	0.91	5.56	3.55	0.07	94.6	0.97	2.11	4.03	2.94
依格尔达坂	3934(5)	二云母花岗岩	75.67	0.1	14	0.85	0.75	0.32	0.02	1.09	2.69	2.5	0.16	91.37	1.54	0.29	2.05	0.82
	3934(11)	二云母花岗岩	75.37	0.04	13.61	0.49	0.43	0.09	0.04	0.87	3.19	4.3	0.13	95.74	1.19	0.47	3.14	1.73
	398	花岗闪长岩	68.36	0.61	15.35	1.1	2.81	0.08	1.84	2.91	3.95	2.28	0.12	87.54	1.08	15.36	2.04	1.52
	425	黑云母花岗岩	73.28	0.17	13.53	0.35	1.38	0.09	0.39	1.2	3.24	5	0.08	95.02	1.05	3.76	3.54	2.23

续表 3-4

地区	样号	岩石名称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	DI	A/CNK	SI	AR	σ 43
小热泉子	XI−33	碱长花岗斑岩	69.99	0.42	14.1	1.1	1.98	0.08	0.87	1.73	5.31	2.83	0.16	92.25	0.94	7.2	3.12	2.44
	X−14	碱长花岗斑岩	70.62	0.5	14.34	1.24	1.85	0.12	0.8	1.75	4.6	3	0.11	92.55	1.03	6.96	2.79	2.08
	XI−31	碱长花岗斑岩	69.92	0.43	14.14	1.34	1.49	0.08	0.84	0.97	5.4	2.89	0.1	93.02	1.03	7.03	3.43	2.52
阿拉塔格	1	斜长花岗岩	67.41	0.2	16.06	1.42	2.34	0.04	1.79	2.55	4.67	1.04	0	87.3	1.20	15.9	1.89	1.31
	2	斜长花岗岩	67.3	0.65	14.74	2.55	2.04	0.04	1.03	4.76	4.48	0.54	0.3	88.74	0.89	9.76	1.69	1.02
双岔沟岩体	3622	斜长花岗岩	68.28	0.51	16.22	0.02	2.74	0.05	1.15	3.45	3.92	1.55	0.25	88.66	1.13	12.26	1.77	1.17
	3552	花岗闪长岩	70.88	0.395	15.13	0	2.6	0.05	0.7	3.4	3.84	1.25	0.12	91.3	1.09	8.34	1.76	0.92
	3515	花岗闪长岩	66.1	0.45	17.11	0.43	2.02	0.04	0.9	3.3	4	3.55	0.21	91.76	1.04	8.26	2.17	2.43
	3536	二长花岗岩	64.86	0.4	18.61	0.52	1.66	0.03	0.85	3.9	5.2	2.18	0.15	92.93	1.03	8.17	1.98	2.45
	3616	花岗细晶岩	71.94	0.22	15	0.54	0.94	0.03	0.4	1.9	4.16	3.32	0.07	95.32	1.08	4.27	2.59	1.92

注：数据来源

1. 三岔口岩体、小铺岩体、小热泉子岩体数据摘自 305 项目报告《觉罗塔格金、铜成矿带成矿系列分布规律研究与矿床定位预测》
2. 土屋岩体数据摘自韩春明博士论文《东天山铜矿区域成矿系列研究》和陈振宇硕士论文《新疆东天山土屋-延东斑岩铜矿岩石矿物的某些研究》
3. 金窝子岩体、照壁山数据摘自陈岳龙编著《东天山、北秦岭花岗岩类地球化学》和赵渊新论文《金窝子金矿床的地质特征及找矿方向》
4. 镜儿泉岩体、小堡东岩体、头宫岩体、阿拉塔格、双岔沟岩体数据摘自 305 项目报告《东天山花岗岩及其含矿性研究》
5. 依格尔达坂岩体数据摘自 305 项目报告《依格尔达坂地区寻找铜-多金属矿产的综合评价研究报告》

不同类型花岗岩在各个指标中的差异。因此，先对数据取对数，然后作图比较。

由图 3-2 可以看出，含矿与无矿两类花岗岩在氧化物含量上的差异表现在：全铁含量及 MgO、CaO 含矿花岗岩明显高于无矿，表现出含矿花岗岩的基性程度普遍高于不含矿花岗岩。K_2O 含量含花岗岩及无矿花岗岩明显高于含铜花岗岩。而 TiO_2、MnO、及 P_2O_5 含量三类花岗岩相差不大。

一些岩石化学参数表现了岩石的成岩成矿环境、结晶分异过程、氧化还原条件等，通过这些系数的比较，也表现出一些无矿、含矿花岗岩的特征区别，如图 3-3 所示。

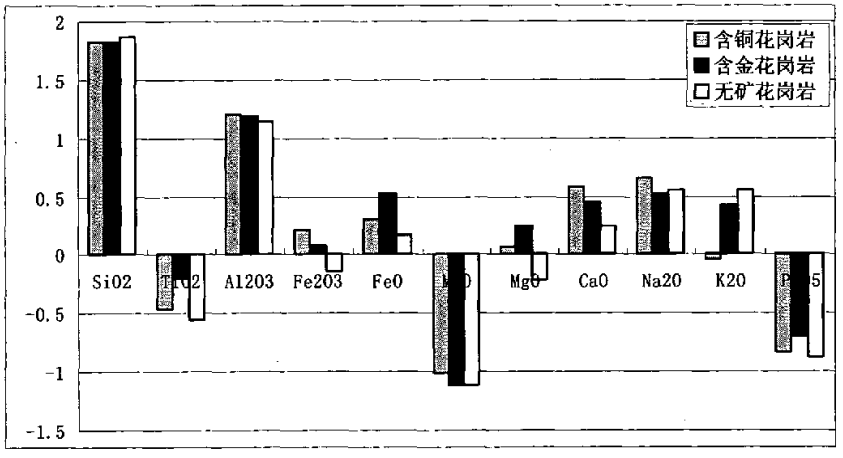


图 3-2　三类花岗岩平均值对数分布图

Fe_2O_3/FeO 值可以用来指示岩浆来源深度及氧逸度。当 Fe_2O_3/FeO 值比较小，表明岩浆来源深度大，氧逸度就比较低，岩浆结晶环境呈氧化性较低的环境。而当 Fe_2O_3/FeO 值比较大，氧逸度较大，呈氧化环境。Cu 矿化花岗岩一般形成于相对氧化环境中。由图 3-3 中数据可以看出不含矿花岗岩 Fe_2O_3/FeO 值低于含矿花岗岩，氧逸度低。不含矿花岗岩碱质含量高于含矿类型，估计是此类源岩中混合了一定量地壳源区的成分[37]。

分异指数 DI 是用于反映岩浆分异作用强度和岩浆基性程度的岩石参数，它被定义为 C.I.P.W 标准矿物分子的 Q+Or+Ab+Ne+Lc+Kp 的百分含量之总和[35]，分异指数越大，表明岩石酸性程度越强，分异程度越高。固结指数 SI 是用于反映岩浆的分异称度和原始岩浆性质的岩石参数[35]，其被定义为：$SI=100\times MgO/(MgO+FeO+Fe_2O_3+Na_2O+K_2O)$。固结指数越小，表明岩石酸性越强，分异程度越高。由表 3-2，3-3，含矿花岗岩 DI 为 88.09，SI 为 118.8；而不含矿花岗岩 DI 为 94.1，SI 为 43.8，反映出不含矿花岗岩酸性程度比较高。

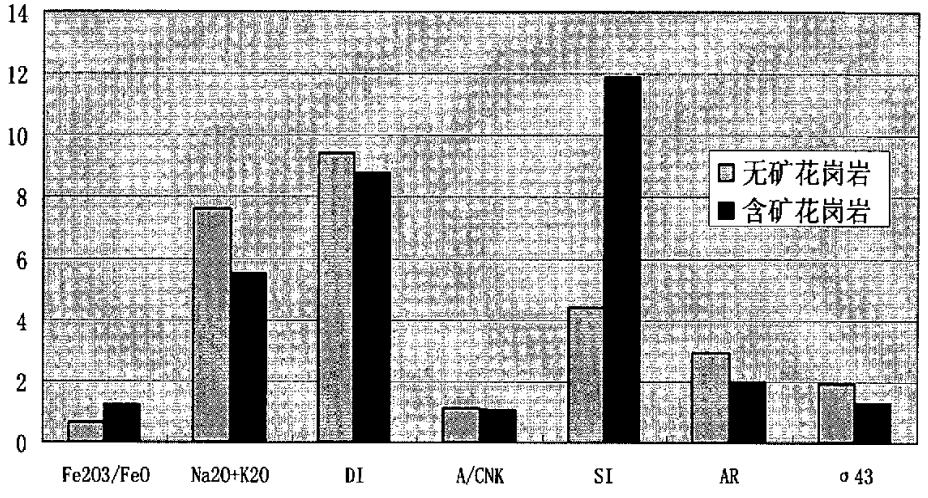
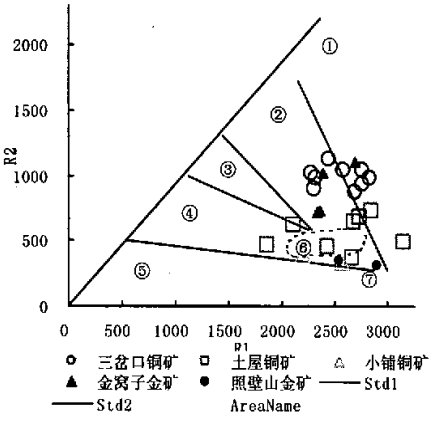


图 3-3　各类岩体岩石化学参数对比图

3.3.3.1 构造环境判别

R.A.Batchelor 等（1985）提出可以用 R1- R2 因素来判别花岗岩形成时的构造背景[38]，依据该图解，可以将岩石形成环境分为七种：地幔分异产物；板块碰撞前；碰撞后隆起产物；造山晚期；非造山带；同碰撞造山环境；造山后。如图 3-4a、3-4b 所示，本区含矿岩体大多落在地幔分异、板块碰撞前的区域；非含矿岩体除具地幔分异和活动板块边缘性质外，很大部分属晚造山期花岗岩或产于同碰撞造山环境。



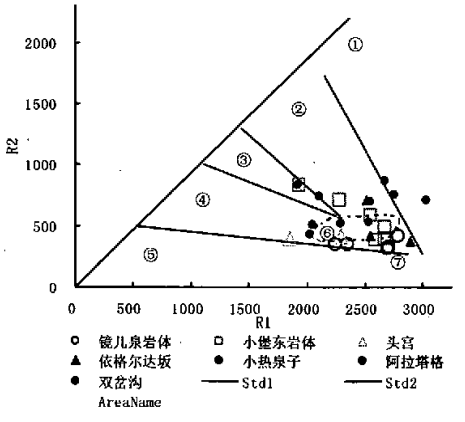


图 3-4a 含矿花岗岩 R1-R2 图解图　　3-4b 不含矿花岗岩 R1-R2 图解

①地幔斜长花岗岩；②破坏性活动板块边缘(板块碰撞前)花岗岩；③板块碰撞后隆起期花岗岩；④晚造山期花岗岩；⑤非造山区 A 型花岗岩；⑥同碰撞(S 型)花岗岩；⑦造山期后 A 型花岗岩

R1＝4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)，R2=6Ca+2Mg+Al(原子数)。

3.3.3.2 岩浆演化分析

(1) SiO_2-Al_2O_3/CaO 图解。

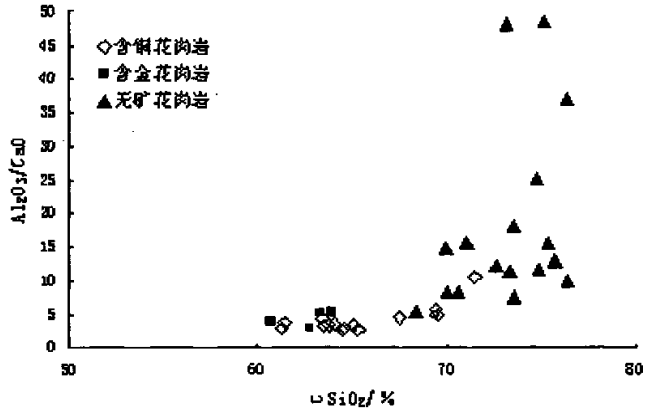


图 3-5　SiO_2-Al_2O_3/CaO 图

本区花岗岩化学成分在图 3-5 中表现为，在近似酸度条件下，不含矿花岗岩体 Al_2O_3/CaO 比值明显高于含矿花岗岩。由于两类花岗岩的 Al_2O_3 大致相当，造成这种分化现象的原因主要是由于含矿岩体中的 CaO 含量较高，并且在成份上偏中基性。

(3)A'- Si_2O 图解

从图中可以看出，含矿岩体以低碱度、偏中性岩为主。

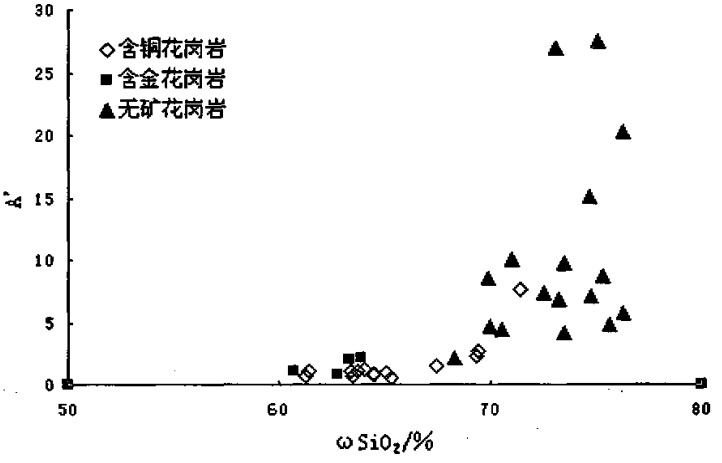


图 3-6　SiO_2-A' 图

$A'=(K_2O+Na_2O)/CaO$

（4）SiO_2- K_2O 图解

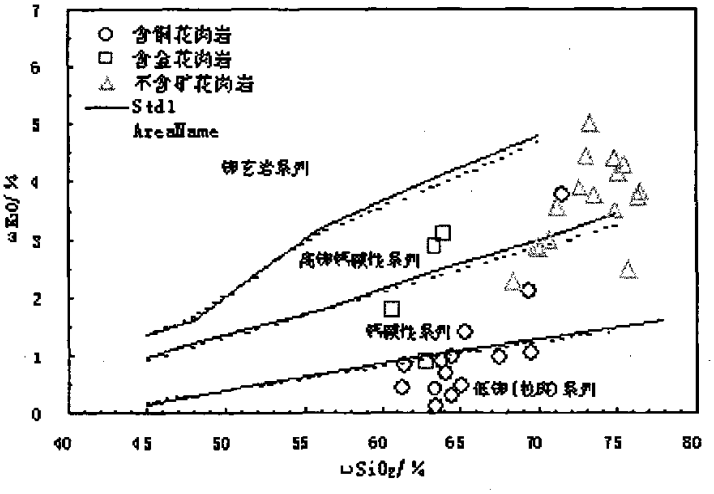


图 3-7　Si_2O- K_2O 图

从图 3-7 中可以看出，由于含矿花岗岩的低钾含量，样品都落在低钾拉斑系列中，在不含矿花岗岩有明显的富钾特征，样品均落入高钾钙碱性系列中。由于母岩中的钾、钠总量及其相对含量对矿化类型也有重要影响[39]。总量偏低，并且 Na>K，与 Cu 伴生的 W、Sn、Mo 矿化增强，则含矿母岩较不含矿岩浆中的 Cu 及 S 的含量增高。

第四章　花岗岩地球化学特征

4.1 稀土元素

稀土元素是一个特殊的“元素族”只要有其中一个元素出现，其余的就会同时存在。不过自然物质的稀土总量不同，他们的运动组合规律是一定的地质与物理化学条件的反映[40-43]因此，被看作是地球化学作用的指示剂，被广泛地应用于固体地球科学的各个方面。

根据表 4-1 所给的稀土元素含量，利用 P. Boyton 等(1984)推荐的球粒陨石稀土元素组成，将含矿和不含矿花岗岩样品稀土元素标准化。结果如图 4-1，4-2 所示。由图可以看出，含铜花岗岩稀土总含量最低，REE 平均值为 52.52；轻、重稀土分馏最为强烈，LREE/HREE 比值平均为 14.7；轻稀土的变化幅度大于重稀土，表现出比较弱的铕异常，δEu 平均为 0.96。含金花岗岩 REE 平均值为 243，也表现出很强的轻重稀土分馏的趋势，LREE/HREE 平均为 9，表现出中等程度铕异常，δEu 平均为 0.56，其中照壁山岩体 δEu 为 0.2 见表 4-1，图 4-1。

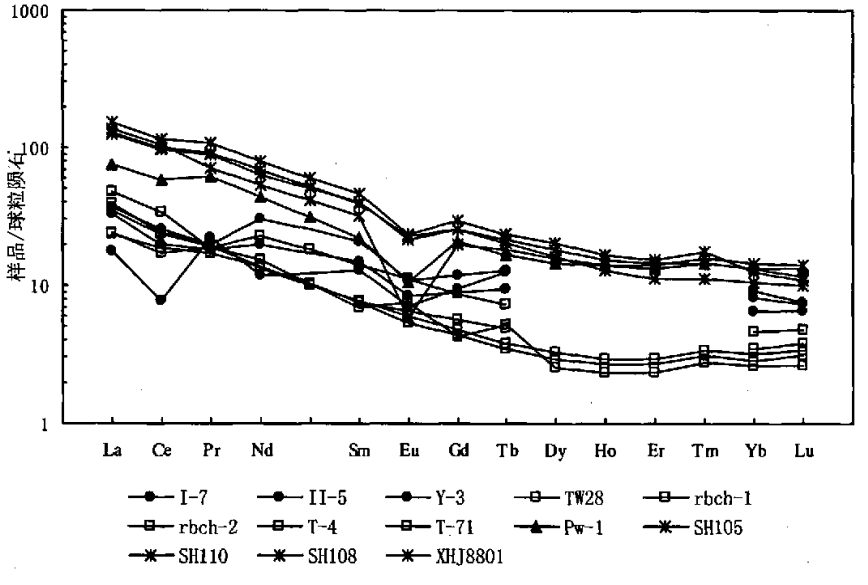


图 4-1 含矿花岗岩稀土标准化图

无矿花岗岩稀土总量介于含金、铜花岗岩之间，稀土含量变化比较大，使由于样品数目比较多，并且类型广泛造成的。但是不含矿花岗岩轻重稀土分馏程度明显低于含矿花岗岩中的稀土，LREE/HREE 平均值为 6.39，变化范围在 12~3 之间，并且表现出中等铕异常，δEu 平均为 0.51。在图 4-1 中，稀土标准化曲线分为上中下三个层位，含金、含铜花岗岩分成了三期的产物。

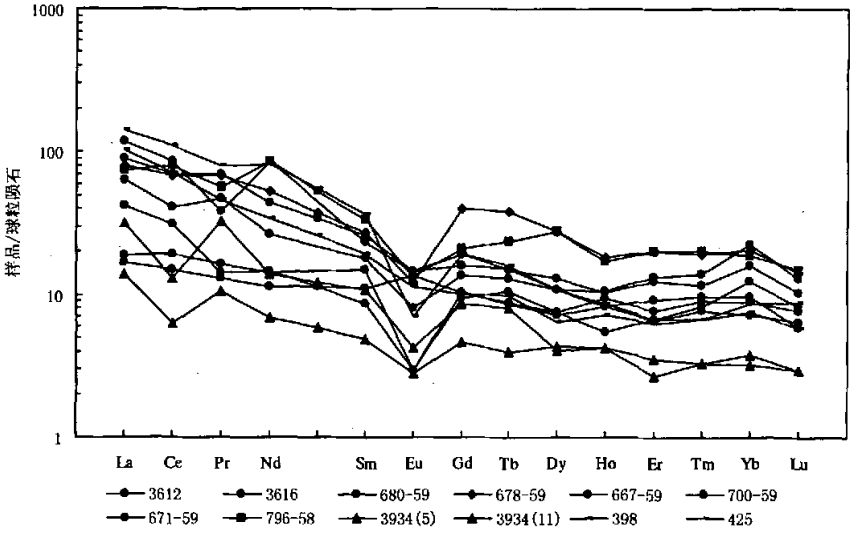


图 4-2 无矿花岗岩稀土标准化曲线图

4.2 微量元素

微量元素在地壳中含量很少，但是，它在地球系统中不是孤立存在，他们与各种地球物质和地质过程相联系[44]。它们在各种地球化学体系的分散和集中与自身独特的赋存形式和共生组合有关。微量元素参与各种地球化学作用，作用过程中体系物理化学状态的转变、作用物质的质量迁移、能量运输及动量传递等，必然在微量元素组成上打上地质作用的印记。为此，通过观察和捕捉微量元素提供的地球化学作用的时-空信息，可用来解析各种复杂的地质作用的原因和条件、追踪作用演化历史[45]。

表 4-1 花岗岩稀土元素含量表

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	δ Eu
I-7	12.04	18.84		13.89	3.41	0.74		0.55					1.61	0.25	51.33	0.90
II-5	6.52	7.47		8.44	2.95	0.62		0.72					2.26	0.29	29.27	0.84
Y-3	13.69	24.27		21.75	4.82	0.95		0.75					2.02	0.28	68.53	0.87
TW28	8.91	16.53	2.56	10.84	1.59	0.66	1.29	⟨0.3	0.98	0.2	0.58	⟨0.1	0.65	⟨0.1	45.29	1.37
rbch-1	12.7	22.5	0	9.73	1.75	0.56	1.75	0.28	0	0	0	0	0.87	0.14	50.30	0.97
rbch-2	17.3	32.1	0	16.4	3.23	0.97	2.67	0.42	0	0	0	0	1.16	0.183	74.44	0.98
T-4	8.55	17.69	2.36	9.61	1.76	0.47	1.34	0.2	1.12	0.23	0.67	0.11	0.72	0.12	44.95	0.90
T-71	14.46	22.84	2.69	9.35	1.78	0.52	1.47	0.22	1.26	0.25	0.74	0.12	0.79	0.13	56.62	0.96
Pw-1	27.58	55.46	8.46	31.27	5.07	0.93	6.32	0.98	5.56	1.19	3.32	0.52	3.3	0.5	150.49	0.50
SH105	45.71	91.73	12.38	45.7	9.19	1.86	7.79	1.25	6.97	1.3	3.64	0.52	3.29	0.44	231.77	0.66
SH110	47.47	95.51	12.68	48.5	9.11	1.97	7.71	1.17	6.2	1.1	2.8	0.4	2.64	0.38	237.64	0.70
SH108	56.37	109.37	15	56.63	10.62	2.06	8.91	1.38	7.84	1.4	3.77	0.63	3.07	0.42	277.47	0.63
XHJ8801	49.55	101.74	9.72	37.52	7.36	0.5	6.06	1.05	5.99	1.21	3.53	0.56	3.64	0.54	228.97	0.22
X—14	18.9	37.85	4.48	21.28	4.42	1.01	4.89	0.79	4.33	1.01	2.87	0.43	2.85	0.32	105.43	0.66
782-58	42.6	13.9	12.4	49.7	7.4	1.3	8.5	1.5	8	1.2	3.8	0.53	2.8	0.4	154.03	0.50
796-58	23.9	63.5	6.4	49.7	6.2	0.95	5.4	1.2	9.6	1.2	4.5	0.61	3.5	0.51	177.17	0.49
3934(5)	10.2	10.3	3.7	8.1	2	0.3	2.2	0.4	1.4	0.3	0.8	0.1	0.7	0.1	40.60	0.44
3934(11)	4.5	4.9	1.2	4	0.9	0.2	1.2	0.2	1.5	0.3	0.6	0.1	0.6	0.1	20.30	0.59
398	33	56	5.2	20	3.6	0.8	2.6	0.5	2.2	0.5	1.4	0.2	1.6	0.3	127.90	0.76
425	46	86	9	48	6.8	0.5	4.9	0.8	3.7	0.6	1.5	0.2	1.4	0.2	209.60	0.25

续表 4-1

样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	δ Eu
3552	29.99	63.63	6.17	25	4.64	0.97	3.16		2.16	0.66	1.14	0.08	1.01	0.71	139.36	0.73
3536	17.32	34.94	3.45	13.39	2.75	0.53	1.87		1.36	0.43	0.817	0.09	0.84	0.14	77.96	0.68
3612	5.97	15.25	1.85	8.38	2.77	0.21	2.67		2.60	0.66	1.72	0.27	1.65	0.26	44.30	0.24
3616	5.33	11.77	1.45	6.67	2.07	0.98	2.66		2.47	0.58	1.47	0.23	1.34	0.22	37.26	1.28
361—88	2.26	6.14	0.65	2.73	1.12	0.03	1.22	0.3	1.53	0.33	0.74	0.12	0.96	0.11	18.24	0.08
362—88	2.27	6.1	0.72	2.75	1.31	0.04	1.48	0.4	1.86	0.4	0.93	0.18	1.05	0.13	19.62	0.09
364—88	2.66	7.07	0.79	3.31	1.33	0.09	1.69	0.35	1.8	0.39	0.93	0.15	0.99	0.13	21.68	0.18
368—88	3.3	8.92	1.02	4.15	1.62	0.03	1.88	0.41	2.12	0.47	1.07	0.17	1.36	0.15	26.67	0.05
680-59	29	55.4	7.8	25.7	4.8	1.04	4.9	0.75	4.5	0.73	2.8	0.35	3	0.35	141.12	0.65
678-59	25.6	53.7	7.6	30.9	5	0.86	10.4	1.9	9.6	1.3	4.5	0.58	3.86	0.49	156.29	0.36
667-59	20.5	32.6	5.3	15.4	3.3	0.57	3.5	0.66	3.7	0.75	3	0.42	4.2	0.44	94.34	0.51
700-59	37.5	67.6	4.3	49.7	4.3	1.04	4.1	0.77	3.7	0.58	2.1	0.29	1.8	0.2	177.98	0.75
671-59	13.6	24.4	1.6	8.6	1.6	0.21	2.4	0.53	2.6	0.38	1.5	0.25	2.3	0.28	60.25	0.33

注：数据来源同表 3-3

研究区各类花岗岩微量元素含量如表 4-1，原始地幔标准化蛛网图，见图 4-3，4-4。

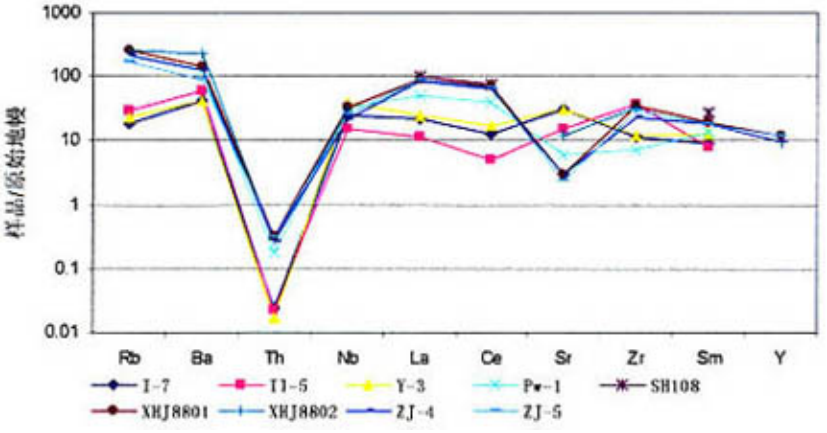


图 4-3 含矿岩体微量元素比值蛛网图

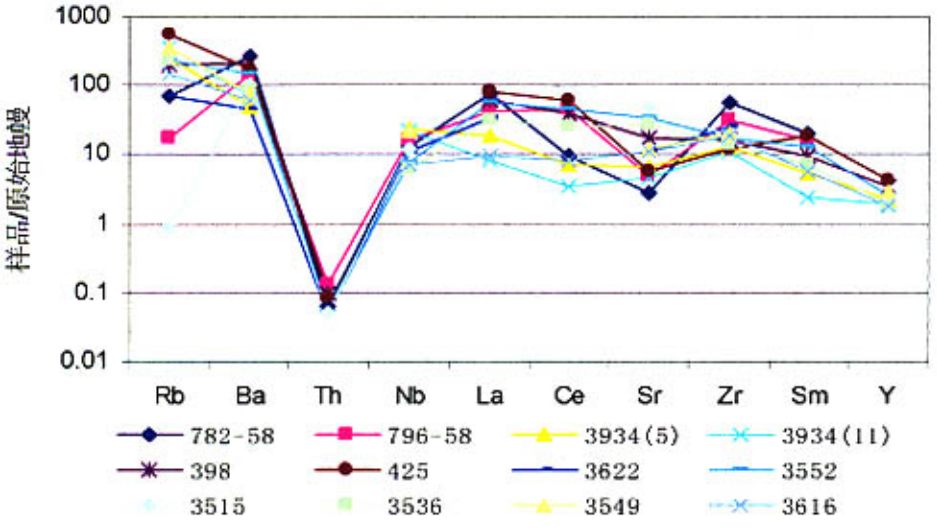


图 4-4 无矿岩体微量元素比值蛛网图

从图中可以看出，本区各类花岗岩的微量元素含量特征分布很相似，都表现出比较明显的 Th 亏损，以及大离子亲石元素 Rb 的富集。表明该组元素的地球化学行为与成岩有关，而与 Au、Cu 的迁移富集无直接关系。

表 4-2 岩体微量元素含量表（10^{-6}）

样号	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Hf	Zr	Yb
X－14		300					10	2.85
3552	123.9	758.9		1.01	4.32	3.9	148	I.01
3536	125.33	407.3		0.41	3.49	3.3	118	0.84
3616	80.51	312.6		0.71	4.03	4.1	152	1.34
680-59	129	455	15	0.44	8.5	4.2	153	3
678-59	80	694	9	0.56	6.6	4.9	226	3.86
667-59	127	472	13	0.9	6	4.3	152	4.2
700-59	42	1293	3.5	0.14	6.2	5.9	249	1.8
671-59	180	200	23	1.2	8.9	4.5	111	2.3
782-58	39	1373	4	0.25	7	10.4	459	2.8
796-58	9.6	770	8.5	0.62	9.1	7.4	267	3.5
3934(5)	136	250		2.2	13			0.7
3934(11)	197	357		2.5	12			0.6
398	106	1120					131	1.6
425	306	880					100	1.4
I-7	10	209	1.59	0.24		2.5	97	1.61
II-5	16	298	1.44	0.74		2.6	316	2.26
Y-3	13	216	1.09	0.68		2.3	101	2.02
Pw-1	118	621	11.18	0.89		5.5	59	3.3

微量元素和主要元素都是继承和发展源岩特征的结果[46]，构造演化的不同阶段，使花岗岩的形成方式有所差异，从而造成不同构造演化阶段和不同构造环境的花岗岩在微量元素和主要元素上具一定的差异。

Pearce 等（1984）利用 600 多个高质量的已知构造环境的花岗岩类的微量元素，将花岗岩类分为：洋中脊、火山弧、板内和同碰撞四种[36]。根据 Pearce 提出的 Yb-Ta 和（Ta+Nb）-Rb 判别图解将该区花岗岩类进行投影，结果如图 4-5、4-6 所示

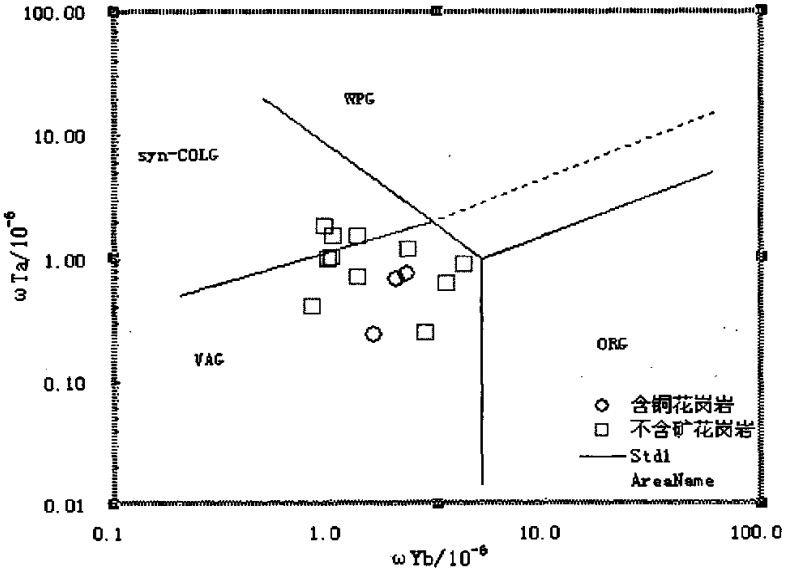


图 4-5　Yb－Ta 图

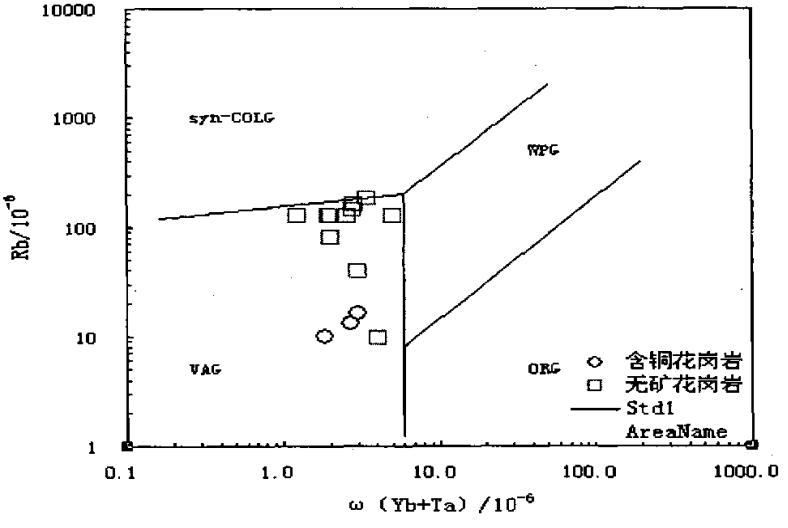


图 4-6　（Yb+Ta）－Rb 图

图 4-5、4-6 表明，两个图解上，含矿和不含矿花岗岩都落在火山弧型花岗岩区域内，依格尔达坂的两个样品落入同碰撞花岗岩区域。说明该区含矿及不含矿花岗岩均产于相近的构造环境中。

4.3 含矿元素分布

成矿作用，不仅与成矿岩体的成因演化有关，与其本身的矿化元素含量、侵入围岩元素背景值也有很大的关系。表 4-3 列出了一些含矿岩体和不含矿岩体样品的成矿元素含量，以此作对比，来分析含矿岩体的成矿机理。

表 4-3 岩体成矿元素含量表（10^{-6}）

地区	样号	W	Mo	Cr	Co	Ni	V	Zn	Cu	Pb
三岔口铜矿	I-7	5.1	5.9	6	8.8	43		122		
三岔口铜矿	II-5	2.6	11.9	9	5.6	166		164		
三岔口铜矿	Y-3	2	0.5	14	9.2	39		743		
金窝子金矿	SH108	<3	<3					82.2	26.1	26.2
金窝子金矿	XHJ8801			73	13	29	109	82	19	28
金窝子金矿	XHJ8802			56	14	23	94	76	23	27
头宫	782-58	0.6	0.5	2	4	1	14	84	2	15
头宫	796-58	2.8	0.7	10	11	4	38	56	20	16
依格尔大阪	398			19	8	15	57			
依格尔大阪	425			34	0	18	9			
双岔沟岩体	3622	0.9		53.2	4.78	《2	28.8	116	5.07	《4
双岔沟岩体	3552	3.4		55.1	5.69	2.98	37.2	81.8	22.5	5.81
双岔沟岩体	3515	3.2		48.6	6.14	3.66	42.8	90.3	15.8	<4
双岔沟岩体	3536	0.7		58.8	1.99	<2	16.0	46.2	6.65	<4
双岔沟岩体	3549	0.8		89.4	4.76	3.64	28.5	76.8	12.5	13.2
双岔沟岩体	3616	1.9		47.1	7.03	6.49	35.7	71.8	3.4	《4
镜儿泉岩体	361－88	0.4	0.8	1	1	3	2	34	4	18
镜儿泉岩体	362－88	0.5	0.4	1	6	3	1	36	2	9
镜儿泉岩体	364－88	1.4	0.1	1	2	2	3	27	3	20
镜儿泉岩体	368－88	0.5	0.4	3	9	2	2	79	3	19
镜儿泉岩体	369－88	0.6	0.5	4	4	1	5	25	2	21
小堡东	667-59	0.5	1.1	2	4	2	13	55	5	21
小堡东	671-59	0.2	1	1	4	1	13	24	1	21

从表中可以看出，不同含矿性岩体的对比特征是：亲铜元素 Zn 含量从含铜、含金、

无矿逐渐降低，表明岩体成矿不仅需要大岩浆为其提供成矿流体，还需要有成矿元素的高背景值；亲铁元素 Co、Cr 按含金、含铜、无矿的次序逐渐降低，但是含铜岩体的 Ni 含量高于含金花岗岩。

4.4 氧同位素组成

氧有三个稳定同位素，各同位素的大约丰度为 ^{18}O：99.63%、^{17}O：0.0375%、^{16}O：0.1995%。自然界一定的物理化学过程将导致这些同位素分馏而使同位素组成发生改变，氧同位素组成的变化根据样品的 $^{18}O/^{16}O$ 比相对于 SMOW（标准平均海水）的千分偏差来表示：

$$\delta^{18}O = 10^3 \times \left[(^{18}O/^{16}O)_R - (^{18}O/^{16}O)_{SMOW} \right] / (^{18}O/^{16}O)_{SMOW}$$

$(^{18}O/^{16}O)_R$ 为岩石的 ^{18}O、^{16}O 同位素比，正的 $\delta^{18}O$ 表示样品相对于标准富集 ^{18}O，负的 $\delta^{18}O$ 表示样品相对于标准亏损 ^{18}O。

Talor（1968、1974）将花岗岩类的氧同位素分为：

高 $\delta^{18}O$ 花岗岩：$\delta^{18}O > +10‰$

正常 $\delta^{18}O$ 花岗岩：$+6‰ \leq \delta^{18}O \leq +10‰$

低 $\delta^{18}O$ 花岗岩：$\delta^{18}O < +6‰$

高 $\delta^{18}O$ 花岗岩与地壳泥砂质岩石的熔融有关，因为沉积岩一般相对于 SMOW 富集 $\delta^{18}O$；正常花岗岩类中，较高的 $\delta^{18}O$ 一端（$+8.5‰ \leq \delta^{18}O \leq +10‰$）也与地壳泥砂质岩石熔融有关，而较低的 $\delta^{18}O$ 一端（$+6‰ \leq \delta^{18}O \leq +8.5‰$）则可能与地幔物质的分异有关；低 $\delta^{18}O$ 花岗岩或者是同化了被大气降水饱和的岩石，或者是该类岩石直接熔融作用的产物[47]。

本文中含矿及不含矿花岗岩的 $\delta^{18}O$ 值如表 4-4

4-4 岩体 $\delta^{18}O$ 值表

地点	岩石名称	$\delta^{18}O_{SMOW}$/‰
小堡东	似斑状黑云母花岗岩	9.42
	黑云母二长花岗岩	9.32
头宫	钾长花岗岩	10.59
	钾长花岗岩	10.20
镜儿泉	白云母花岗岩	7.0
	白云母花岗岩	6.9

	白云母花岗岩	6.6
双岔沟	斜长花岗岩	10.7
	二长花岗岩	8.1
土屋延东	斜长花岗斑岩	8.66
三岔口	花岗闪长岩	3.13~4.3
金窝子	花岗闪长岩	14.23

由上表可以看出：除头宫岩体、双岔沟的斜长花岗岩、金窝子岩体外，其他花岗岩体的 $\delta^{18}O‰$（SMOW）值都在正常花岗岩区域中，镜儿泉白云母花岗岩的 $\delta^{18}O‰$（SMOW）相当于 Talor 所称正常花岗岩的低值部分，这些较低数值可能与白云母花岗岩成岩过程中一定数量表生水的加入有关。对比三岔口与石英平衡的 $\delta^{18}O_{*}‰$（-7.4~8.58）[36]，表明该矿床成矿后期在含矿石英脉形成的时候，成矿溶液主要为天水。

第五章　含矿花岗岩判别函数的确立

5.1 方法原理概述

判别分析是根据若干因素对预测对象进行分类的一种方法，通过分析可以建立用于定性预测的数学模型[48]。以便在以后的工作中遇到新的样本时，只要根据判别公式判断它的所属类别就可以了。用判别分析方法处理问题时，通常要给出一个衡量新样本与已知组别接近成俗的描述指标，即判别函数，同时指定一种判别规则，借以判定新样本的归属。判别规则可以是统计性的，决定新样本所属类别时用到的数理统计的显著性检验，也可以是经验性的，决定样本归属时，只考虑判别函数值的大小。判别分析按判别的组数来分有两组判别和多组判别，按区分的不同总体所用的数学模型来分，有线性判别和非线性判别，按判别时处理变量的方法来分有逐步判别和序贯判别等。本文主要采用多类线性判别和多组逐步判别两种方法进行对比，选出最优。

5.1.1 贝叶斯准则下的多类线性判别模型

若从 G 个母体$(A_1,A_2,\cdots,A_g)$中取得 n 个样品，每个样品必然属于这 G 个母体中的一个母体（A_g）。如果每个样品测得 p 个变量$(x_1,x_2,\cdots,x_g)$，可把每个样品看作 p 维空间$\{R\}$中的一个点。n 个样品组成一个 p 维样本空间$\{R\}$。

如果设法将样品空间划分为 G 个两两互斥的子空间：$\{R_1\},\{R_2\},\cdots\{R_G\}$，并分别与 G 个母体$(A_1,A_2,\cdots,A_g)$对应。那么，对于一个未知样品$x(x_1,x_2,\cdots,x_p)$同样也作为 p 维空间中的一点，看它落在哪个子空间内，或它落在哪个子空间的概率最大，则就可以把它划归为 G 个母体中的某一个母体。

对空间$\{R\}$存在着各种划分方法，任何一种划分方法都可能存在着错分现象，错分就会造成损失。若把原属于母体A_g的样品错分到A_h母体中去，则造成的损失记为：$L(h|g)$，并约定

$$h=g \text{ 时，} L(h|g)=0$$
$$h\neq g \text{ 时，} L(h|g)>0$$

若把原属于母体A_g的样品错分到A_h的概率记为 P{h/g}，则当 G 个母体的概率分布密度$f_g(x)$已知时，有

$$P(h,g)=\int_{R_h} f_g(x)dx \tag{5-1}$$

把原属于母体A_g的样品错分到A_h中取所造成的平均损失为

$$W_h=\sum_{\substack{g=1\\g\neq h}}^{G} L(h|g)P\{h/g\}=\sum_{\substack{g=1\\g\neq h}}^{G} L(h|g)\int_{R_h} f_g(x)dx \tag{5-2}$$

在个母体的先验概率q_h已知时，G类母体总的错分平均损失为

$$W_R=\sum_{h=1}^{G} q_h W_h=\sum_{h=1}^{G} q_h \sum_{\substack{g=1\\g\neq h}}^{G} L(h|g)P\{h/g\} \tag{5-3}$$

如果不把原不属于A_g的样品错误的划入A_g中来，造成的损失记为：$L(h|g)$，错分概率记为$P\{g/h\}$。当母体的概率分布密度已知时，有

$$P\{g/h\}=\int_{R_g} f_h(x)dx \tag{5-4}$$

则把原不属于A_g的样品错划入A_g所造成的平均损失为

$$W_g=\sum_{\substack{h=1\\h\neq g}}^{G} L(g|h)P\{g/h\}=\sum_{\substack{h=1\\h\neq g}}^{G} L(g|h)\int_{R_g} f_h(x)dx \tag{5-5}$$

当母体先验概率q_g已知时，G类母体错分的总平均损失为

$$W_R=\sum_{g=1}^{G} q_g \sum_{\substack{h=1\\h\neq g}}^{G} L(g|h)\int_{R_g} f_h(x)dx \tag{5-6}$$

显然，人们希望划分空间，使总的错分损失W_R最小。

贝叶斯证明出，要使总错分平均损失（W_R）最小，则划分空间$\{R\}$的方法应满足以下不等式：

$$\{R_g\}:\sum_{\substack{g=1\\g\neq h}}^{G} L(h|g)q_g f_g(x)>\sum_{\substack{h=1\\h\neq g}}^{G} L(g|h)q_h f_h(x) \tag{5-7}$$

即是说，对任一个研究个体$x=x_1,x_2,\cdots,x_p$，若把它划归A_g母体所造成的平均损失小于把它划归其他母体所造成的平均损失时，则就将它划归A_g母体。因此，将在给定母体先验概率q_g时，划分空间$\{R\}$使错分平均损失最小的原则，称为贝叶斯准则。按照这一准则划分空间$\{R\}$的结果，称为关于q_g的贝叶斯解。

在实际问题中，错分损失不易准确计量，要精确给出能反映客观实际的$L(h|g)$值是困难的。因此，往往假定

$$L(h|g)=L(g|h)\quad(h\neq g)$$

则式（4-7）可写为

$$\{R_g\}:\sum_{\substack{g=1\\g\neq h}}^{G} q_g f_g(x) > \sum_{\substack{h=1\\h\neq g}}^{G} q_h f_h(x) \tag{5-8}$$

将上式两边同时减 $\sum_{i=1}^{G} q_i f_i(x)$，可得

$$\{R_g\}: q_g f_g(x) < q_h f_h(x) \tag{5-9}$$

将式(4-9)两边同除以 $\sum_{i=1}^{G} q_i f_i(x)$，可得

$$\{R_g\}:\frac{q_h f_h(x)}{\sum_{i=1}^{G} q_i f_i(x)} < \frac{q_g f_g(x)}{\sum_{i=1}^{G} q_i f_i(x)} \tag{5-10}$$

式（4-10）两端就是个体 $x=x_1,x_2,\cdots,x_p$ 属母体 A_h 和 A_g 的后验概率。所以，贝叶斯准则又称为以制定具有较高后验概率的母体作为判别个体 x 归属的准则。也就是说，把属于 A_g 母体的后验概率最大的个体，归属 A_g 母体，由式（4-10）可知，后验概率最大与 $q_g f_g(x)$ 最大是等价的。因此，

$$q_g f_g(x) \quad (g=1,2,\cdots,G) \tag{5-11}$$

称为赖以对任一个体 x 进行判别归属的判别函数。

5.1.2 逐步判别分析

逐步判别分析是在多组判别基础之上发展起来得一种方法，其基本思路与逐步回归分析类似，采用“有进有出”的算法，即变量按其重要与否逐步引入，原引入得变量也可能因后来引入的新变量而使之丧失重要性最终被剔除，每步引入或剔除变量都要作相应的统计检验，使最后的贝叶斯判别函数仅保留“重要”的变量。

逐步判别分析的做法是：

（1）首先从一个变量开始，比较各个变量的判别能力，把其中分辨母体能力最强的一个变量挑选出来，并检验其对母体分辨能力是否显著。如果显著，就将其引入判别函数。

（2）再把未选入的每一个变量同已选入的每一个变量结合在一起，比较每两个变量结合之后分辨母体的能力，从中选择分辨能力最大的变量，并检验其对母体的分辨能力是否显著。如果显著，再把这个变量选入判别式。

（3）当第二个变量选入后，考察第一次引入的那个变量是否由于新变量的引入而判别能力下降。因此，需要检验第一个变量在第二个变量存在时的判别能力是否显著。如果不显著，则将其从判别式中剔除；否则，再考虑引进另一个变量。再把尚未选中的的每一

个变量与已选中的两个变量结合，计算每一个组合分辨母体的能力，并从其中选择一个分辨能力最大者，检验其对母体的判别能力是否显著，如果显著，再把这个变量引入判别式，如此反复进行，直至即没有变量再引入，又没有变量剔除位置。最后，利用选入的变量建立函数。

逐步判别的判别模型，仍是再贝叶斯准则下的多类线性判别模型，只是引入了选择变量的技巧。

变量的判别能力及变量取舍的标准

1．变量的综合判断能力

再讨论判别效果检验时，曾用威尔克斯（Wilks）统计量

$$U=\frac{|W|}{|T|}$$

检验多个变量结合在一起对 G 个母体的分辨能力是否显著的问题。其中，U 反映了多个变量的综合判断能力。

假设收集了 G 个样品，第 g 类有 n_g 个样品，当只有一个变量 x_i 时，其组内离差平方和矩阵和总离差平方和矩阵为一阶矩阵，只有一个元素，即

$$W_1=\omega_{11}=\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{n_g}(x_{gi}-\bar{x}_g)^2$$

$$T_1=t_{11}=\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{n_g}(x_{gi}-\bar{x})^2$$

则

$$U_1=\frac{|W_1|}{|T_1|} \tag{5-12}$$

表示变量 x 的判别能力。

当有两个变量（如 x_1,x_2）时，其组内变差矩阵和总变量矩阵为二阶矩阵，即

$$W_2=\begin{pmatrix}\omega_{11} & \omega_{12}\\ \omega_{21} & \omega_{22}\end{pmatrix}_{2\times2} \qquad T_2=\begin{pmatrix}t_{11} & t_{12}\\ t_{21} & t_{22}\end{pmatrix}_{2\times2}$$

其中

$$\omega_{kj}=\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{n_g}(x_{gik}-\bar{x}_{gk})(x_{gij}-\bar{x}_{gj})$$

$$(k,j=1,2,)$$

则

$$U_{1,2}=\frac{|W_2|}{|T_2|} \tag{5-13}$$

反映了两个变量x_1,x_2组合在一起分辨母体的能力。即$U_{1,2}$值越小，则x_1,x_2的判别能力越强。

当有L个变量（如$x_1,x_2,\cdots,x_L$）时，其组内变差矩阵与总变差矩阵为L阶矩阵，即

$$W_L=\begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1L} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{L1} & \cdots & w_{LL} \end{pmatrix}_{L\times L} \qquad T_L=\begin{pmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1L} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{L1} & \cdots & t_{LL} \end{pmatrix}_{L\times L}$$

其中

$$w_{kj}=\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{n_g}(x_{gik}-\bar{x}_{gk})(x_{gij}-\bar{x}_{gj})$$

$$t_{kj}=\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{n_g}(x_{gik}-\bar{x}_{k})(x_{gij}-\bar{x}_{j}) \qquad (k,j=1,2,\cdots L)$$

则

$$U_{1,2,\cdots,L}=\frac{|W_L|}{|T_L|} \tag{5-14}$$

反映出L个变量组合在一起分辨母体的能力。同样$U_{1,2,\cdots,L}$值越小，其判别能力越强。

2. 未选变量的判别能力及引进变量的标准

（1）未选变量的判别能力　假设变量$x_1,x_2\cdots x_L$已经给定，然后再添加一个新变量$x_r(r>L)$，现讨论变量x_r的判别能力。

把（L+1）个变量分为四组：第一组是前L个已给定的变量；第二组仅有x_r，那么L+1个变量的组内变差矩阵为

$$W_{L+1}=\left[\begin{array}{cccc:c} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1L} & w_{(L+1)} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{11} & w_{2(L+1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{L1} & w_{L2} & \cdots & w_{LL} & w_{L(L+1)} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{(L+1)1} & w_{(L+1)2} & \cdots & w_{(L+1)L} & w_{(L+1)(L+1)} \end{array}\right]_{(L+1)\times(L+1)}$$

则

$$W_{L+1}=\begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{pmatrix}$$

其中，W_{11}是前L个变量的组内离差矩阵，为

$$W_{11}=\begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1L} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{L1} & w_{L2} & \cdots & w_{LL} \end{bmatrix}_{L\times L}$$

$$W_{1,2}^{'}=W_{21}=[w_{1(L+1)},w_{2(L+1)},\cdots w_{L(L+1)}]$$

$$W_{rr}=w_{(L+1)(L+1)}=w_{rr}$$

将行列式进行初等变化，可得

$$|W_{L+1}|=|W_{11}|\begin{vmatrix} 1 & W_{11}^{-1}W_{12} \\ 0 & W_{rr}-W_{21}W_{11}^{-1}W_{12} \end{vmatrix}=|W_{11}||W_{rr}-W_{21}W_{11}^{-1}W_{12}|$$

令$W_{11}^{(l)}=|W_{rr}-W_{21}W_{11}^{-1}W_{12}|$，则

$$|W_{L+1}|=|W_{11}|w_{rr}^{(l)} \tag{5-15}$$

同理

$$|T_{L+1}|=|T_{11}|t_{rr}^{(l)} \tag{5-16}$$

于是

$$\frac{|W_{L+1}|}{|T_{L+1}|}=\frac{|W_{11}|w_{rr}^{(l)}}{|T_{11}|t_{rr}^{(l)}} \tag{5-18}$$

或记为

$$U_{1,2,\cdots L,r}=U_{1,2,\cdots L,}U_{r|1,2,\cdots L} \tag{5-19}$$

其中，$U_{1,2,\cdots L,r}$表示变量$x_1,x_2\cdots x_L$及x_r的判别能力，$U_{1,2,\cdots L,}$表示前L个变量$x_1,x_2\cdots x_L$的综合判别能力；$U_{r|1,2,\cdots L}$表示在给定前L个变量的条件下，变量x_r的判别能力。显然，在给定$U_{1,2,\cdots L,}$时，$U_{1,2,\cdots L,r}$的大小与$U_{r|1,2,\cdots L}$有关。如果$x_1,x_2\cdots x_L$代表已引入的变量，则$U_{r|1,2,\cdots L}$表示尚未引入的变量x_r在与$x_1,x_2\cdots x_L$结合在一起时的判别能力，即尚未引入变量x_r的判别能力，简记为$U_{r|(L)}$。

$U_{r|(L)}$也是一个威尔克斯统计量。它可以检验假设$H_0:\alpha_{1|(L)}=\alpha_{2|(L)}=\cdots=\alpha_{G|(L)}$。其中$\alpha_{g|(L)}(g=1,2,\cdots G)$是在给定$x_1,x_2\cdots x_L$条件下第g个母体（L+1）元的条件分布的均值向量。为了避开U分布函数的计算，可建立与$U_{r|(L)}$等价的F近似式

$$F_{(G-1,n-G-L)}=\frac{1-U_{r|(L)}}{U_{r|(L)}}\frac{n-G-L}{G-1}=\frac{t_{rr}^{(l)}-w_{rr}^{(l)}}{w_{rr}^{(l)}}\frac{n-G-L}{G-1} \tag{5-20}$$

来检验变量x_r的判别能力的显著性。

（2）引进变量的标准　假设已经计算了l步，并引进了某L个变量（包括l=0；L=0），

尚有 $x_{L+1},x_{L+2}\cdots x_{L+m}$ 个变量尚未引入，现要确立第 $l+1$ 步及再引入一个新变量 $x_r\ (r=L+1,L+2,\cdots L+m)$ 的标准。

在给定 $x_1,x_2\cdots x_L$ 条件下，每一个未入选的变量 x_r 的判断能力均可由

$$U_{r|(L)}=\frac{w_{rr}^{(l)}}{t_{rr}^{(l)}}\quad (r=L+1,L+2,\cdots L+m) \tag{5-21}$$

给出。其中，必有一个最小者，为

$$U_{r|(L)}^{*}=\min_{L+1\le r\le L+m}\left\{U_{r|(L)}\right\}$$

说明变量 x_r^{*} 的判别能力最强。用与 $U_{r|(L)}^{*}$ 等价的 F 近似式

$$F_{(G-1,n-G-L)}=\frac{1-U_{r|(L)}^{*}}{U_{r|(L)}^{*}}\frac{n-G-L}{G-1} \tag{5-22}$$

进行显著性检验。当计算值 $F>F_{\alpha(G-1,n-G-L)}$ 时，则认为 x_r^{*} 的判别能力显著，应该将它引入 判别函数。上式中的 F，是作为引入变量的标准。

（3）已选变量的判别能力及剔除变量的标准

1）已选变量的判别能力　在逐步引入变量时，已经引入变量的判别能力可能会由于后来引入一个新的变量尔下降。因此，每引入一个新变量之后，须对已经引入的其他变量的判别能力重新估价，对某个由于新变量引入而判断能力下降且判别效果不显著的变量，则应剔除到判别函数之外。

假设已经计算了 l 步，并引入了包括 x_r 在内的 L 个变量，现要确定第 $l+1$ 步剔除变量 x_r 的标准。为了方便，假设 x_r 是第 l 步引入的，即前 l-1 步引入了不包括 x_r 在内的 L-1 个变量。因此，该问题就转化为在给定前 L—1 个变量的条件下，检验第 l 步引入的变量 x_r 的判别能力。由式（4-21）可知

$$U_{r|(L-1)}=\frac{w_{rr}^{(l-1)}}{t_{rr}^{(l-1)}} \tag{5-23}$$

对于任意的 $r(r=1,2,\cdots L)$，$U_{r|(L-1)}$ 就表示已入选的变量 x_r 的判别能力。显然 $U_{r|(L-1)}$ 值越大，x_r 的判别能力越弱。

2）剔除变量的标准　若对第 l 步引入的 L 个变量，计算其判别能力 $U_{r|(L-1)}\ (1\le r\le L)$。其中，必有一个

$$U_{r|(L-1)}^{*}=\max_{1\le r\le L}\left\{U_{r|(L-1)}\right\}$$

说明变量 x_r^{*} 判别能力最弱。运用与其等价的 F 统计量

$$F_{(G-1,n-G-(L-1))}=\frac{1-U_{r|(L-1)}^{*}}{U_{r|(L-1)}^{*}}\frac{n-G-(L-1)}{G-1} \tag{5-24}$$

进行检验其判别效果。如果$F_{(G-1,n-G-(L-1))} < F_{\alpha(G-1,n-G-(L-1))}$，则表明在给定显著性水平下的$x_r^*$的判别力不显著，应将其从判别函式中剔除；如果$F_{(G-1,n-G-(L-1))} > F_{\alpha(G-1,n-G-(L-1))}$，则表明$x_r^*$的判别力仍然显著，判别式中无变量可以剔除。故称与$U_{r(L-1)}^*$等价的$F_{(G-1,n-G-(L-1))}$为“剔除F”，用它作为剔除变量的标准。

5.2 数据处理

5.2.1 选择判别参数

取自各岩体的的硅酸盐全分析样。岩石化学成分是目前了解岩体最精确的方法，判别样品的基本数据必须包括SiO_2，TiO_2，Al_2O_3，Fe_2O_3，FeO，MnO，MgO，CaO，Na_2O，K_2O，P_2O_5等十一项。在样品稀土含量各系数比较中，选出REE，LREE/HREE，La_N/Yb_N，La_N/Sm_N，Gd_N/Yb_N，δEu六个指标进入判别的基本数据。由于微量元素数据比较少，不能作为判别变量进入基础数据。由于各岩体的矿化情况均属基本查明，选择每个岩体具有代表性的样品进入判别，共选出10个花岗岩体的31个样品，列表5-1如下：

表5-1 岩体名称及分类

类型分类	类型	岩体名称	样品数
1	无矿花岗岩	头宫花岗岩	2
		依格尔达坂	4
		镜儿泉	4
		双岔沟岩体	3
		小堡东	5
		小热泉子	1
2	含铜花岗岩	小铺铜矿	1
		三岔口	3
		土屋	5
3	含金花岗岩	金窝子	2
		照壁山	1

5.2.2 判别函数计算

选取31个样品的17个变量数据。多组判别时，需要考虑在方法的选择上是采用多组逐步判别，还是让所有变量都进入判别函数两种方法，尽管逐步判别可以筛选出对判别函数贡献最大的少数变量，从而简化判别方程。但是，在实际应用中，最终的判别函数是要最大限度地区分不同类别，使新样品带入方程后，得出其归属类别，所以，考虑到结果的有效性，本文利用spss统计软件分别计算出全部变量进入方程和逐步判别两个判别函数，并作图比较，结果如下：

（1）变量全部进入判别函数，得到的判别函数表5-2，判别效果表5-3及判别图5-1。

5-2 判别函数

函数	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O
1	-0.08	-8.12	-1.38	1.28	0.95	-1.88	0.80	1.26	1.30
2	-0.21	-0.06	-1.39	0.31	-0.16	10.27	0.50	1.61	1.86

函数	K_2O	P_2O_5	REE	LREE/HREE	La_N/Yb_N	La_N/Sm_N	Gd_N/Yb_N	δEu	常数项
1	-0.14	1.04	-0.01	-0.17	0.27	0.00	-1.03	-4.16	19.06
2	0.87	-25.16	-0.04	0.19	0.00	0.02	1.88	0.57	23.21

表5-3 判别效果表

	类　别	初始分类			总　数
		1	2	3	
	1	19	0	0	19
	2	0	9	0	9
	3	0	0	3	3
正判百分率	1	100	0	0	100
	2	0	100	0	100
	3	0	0	100	100

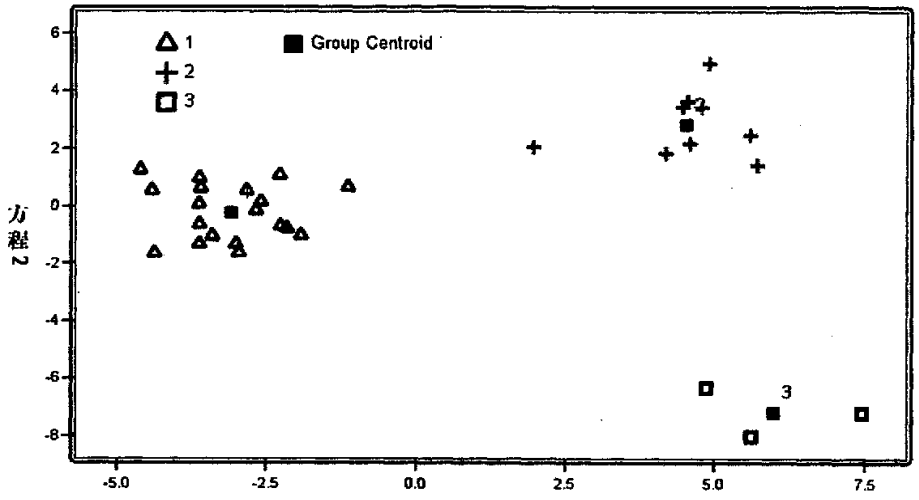


图 5-1　判别函数图

1-不含矿岩体　2-含铜矿岩体　3-含金矿岩体

（2）逐步引入变量

逐步引入变量时，通过对引入和剔除变量过程中 F 值的变化来决定变量的出入，通过反复过程引入变量 Al_2O_3、FeO、K_2O、La_N/Yb_N、Gd_N/Yb_N、δEu 六个变量作为判别函数的因子，并得到判别函数表 5-4

表 5-4 判别函数

函数	Al_2O_3	FeO	K_2O	La_N/Yb_N	Gd_N/Yb_N	δEu	常数项
1	0.68	-0.70	0.60	-0.15	1.60	2.88	-11.90
2	0.21	0.58	0.88	0.03	0.52	-2.62	-6.41

表 5-5 判别效果表

	类　别	初始分类			总　数
		1	2	3	
	1	19	0	0	19
	2	0	9	0	9

	3	0	0	3	3
正判百分率	1	100	0	0	100
	2	0	100	0	100
	3	0	0	100	100

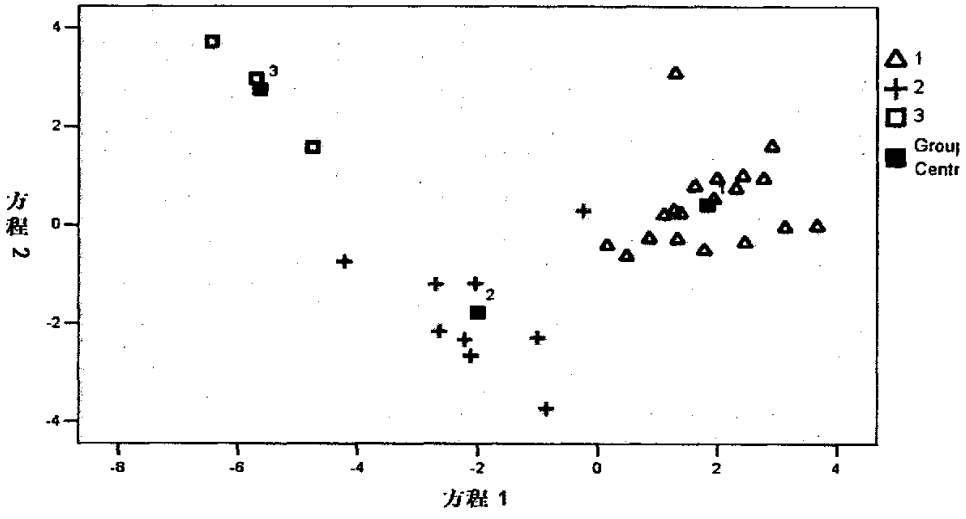


图 5-2　判别函数图

1-不含矿岩体　2-含铜矿岩体　3-含金矿岩体

5.3 判别结果分析

由两种方法的解析图可以比较明显看出。全部变量进入方程得到得三类花岗岩投点各自有聚集的中心点，并且中心点间两两距离都比较远，三类样品分别占据分析图的三个角。但是逐步判别的结果分析图中含铜与不含矿花岗岩的投影点分布区域有重合，若进行新样品判别，如果方程投点落入这个区域，有可能产生混淆，使判别效果下降。

对此判别效果表对比看来，两类方法的判别效果都是 100%的正判率。综上所述，采用全部变量进入判别方程的方法得到判别函数如下：

$$D_1 = 19.06 - 0.08 \times SiO_2 - 8.12 \times TiO_2 - 1.38 \times Al_2O_3 + 1.28 \times Fe_2O_3 + 0.95 \times FeO - 1.88 \times MnO$$

$$+0.8 \times MgO + 1.26 \times CaO + 1.3 \times Na_2O - 0.14 \times K_2O + 1.04 \times P_2O_5 - 0.01 \times REE - 0.17 \times L/H$$

$$+0.27 \times La/Yb + 0 \times La/Sm - 1.03 \times Gd/Yb - 4.16 \times \delta Eu$$

$$D_2 = 23.21 - 0.21 \times SiO_2 - 0.06 \times TiO_2 - 1.39 \times Al_2O_3 + 0.31 \times Fe_2O_3 - 0.16 \times FeO + 10.27 \times MnO$$

$$+0.5 \times MgO + 1.61 \times CaO + 1.86 \times Na_2O + 0.87 \times K_2O - 25.16 \times P_2O_5 - 0.04 \times REE + 0.19 \times L/H$$

$$+0 \times La/Yb + 0.02 \times La/Sm + 1.88 \times Gd/Yb + 0.57 \times \delta Eu$$

由于该判别函数的判别效果达到了比较高的正判率，结合判别图投点，可以作为区分含金矿和含铜矿以及不含矿花岗岩体的一个依据。

第六章　结论与展望

6.1 结论

东天山花岗岩分布范围广，类型全，部分花岗岩与铜、金矿化密切相关，前人的研究着重于对同一成因类型或相同构造环境的研究，对单个成矿岩体的研究也比较详细，但对不同成因类型或构造环境的相同类型矿化花岗岩缺乏详细研究，为填补这一不足，本文在总结前人成果的基础上，对东天山地区部分含铜、含金及不含矿花岗岩进行了对比研究，建立了东天山含矿性标志。主要成果如下：

1. 对比分析不同矿化类型花岗岩的岩石矿物学特征，得出含铜、金矿花岗岩岩石中的黑云母含量明显高于不含矿岩石，这一特点表明该类花岗岩为成矿作用提供了丰富的岩浆流体，氧同位素也表明成矿流体主要是岩浆流体。

2. 在岩石化学特征方面，含矿花岗岩表现出基性成分含量较高，且具有富钙低碱的特征。

3. 在岩石地球化学方面，通过稀土元素标准化曲线，可以看出，含矿岩石明显分为三期，含金花岗岩的各稀土元素标准化值均大于含铜矿花岗岩。不含矿花岗岩稀土分布曲线趋于平行，分析各类花岗岩体的产出构造环境，发现岩体都产出与同碰撞造山环境，只是部分产于造山早期，部分于造山后期，所以不含矿岩石有可能是同源岩浆分异演化的产物。含矿元素分布也说明成矿岩体本身具有比较高的成矿元素丰度。

4. 利用岩石化学和微量元素的分析结果，从中挑选 17 个变量对三类花岗岩进行判别分析，建立了三类花岗岩的判别分析模型，使三类花岗岩判别函数分别投影在判别图的三个区域，界线明显。

6.2 论文存在问题及展望

本人的硕士论文工作已基本结束，但在论文的编写过程中，还有一些不尽人意的地方，现简要提出如下：

1. 限于原始资料，本文着重研究花岗岩的岩石化学特征和微量元素特征，对同位素研究比较少，未能表现不同含矿性在岩石在时间上与成矿的关系特征，对问题的讨论还不够深入，有些问题在此基础上还有待进一步的研究。

2. 判别分析非常适用于对岩石含矿性的分析，它能比较直观地反映岩石含矿特征，是一种行之有效的方法。但是由于工作比较仓促，未能对大量未知样品进行判别检验，因此，在此方面，本研究所取得的判别模型还有待于进一步完善。

3. 本区的岩石化学资料主要是收集前人分析结果，数据的来源受很大的限制，使岩石化学空间变化规律的研究十分困难。

本人在现有资料的基础上，尽最大努力做了一些工作，取得了一些粗浅的认识，为进一步研究打下了基础，错误和不当之处，敬请各位专家指正。

参　考　文　献

[1] 新疆维吾尔自治区地质矿产局区域地质调查大队．天山花岗岩地质．地质出版社 1985．第一版．3～247

[2] 杨浩．东天山地区花岗岩的成因、特征、分布规律及其构造背景和成矿关系．1988．南京大学博士论文

[3] 杨兴科，程宏宾，姬金生，罗桂昌，陶洪祥．东天山金铜成矿背景与成矿系统分析．西安工程学院学报．2000，22（2），7~14

[4] 刘建．东天山区域地壳地球化学元素系列丰度值．长安大学．硕士论文 2002.5 1～55

[5] 姬金生，陶洪祥，曾章仁等．东天山康古尔塔格金矿带地质与找矿．地质出版社．1993．第一版．1～4

[6] 芮宗瑶，刘玉琳，王龙生，王义天．新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局．地质学报．2002，76（1），83~94

[7] 廖启林，赖健清．新疆北部几个金、铜矿区中酸性岩的稀土元素地球化学．桂林工学院学报．2003，23（1），10~17

[8] 赵振华，沈远超，涂光炽．新疆金属矿产资源的基础研究．科学出版社．2001．第一版．72~105，118~128

[9] 章邦桐，凌洪飞，陈培荣．多体系微量元素地球化学对比中存在的问题及解决途径．地质地球化学．2003，31（4），102~106

[10] 刘志武．南祁连党河南山花岗岩类及含矿性研究．西安工程学院硕士论文．2000，5

[11] 冯钟燕．关于亲花岗岩类矿床研究的进展和趋势．地学前缘．1994，1（3），100~104

[12] 王书来，秦克章，方同辉，彭晓明．新疆东部金矿床类型、成矿特点及找矿方向．新疆地质．2002，20（4），375~378

[13] 周刚．吉木乃县塔斯特岩体地质地球化学特征及含矿性评价．新疆地质．2003，18（1），79～84

[14] 印纯清．陕西秦岭曹坪花岗岩的构造环境及含矿性．地球科学-中国地质大学学报．1993，18（1），21～29

[15] 陈文伦,寥忠直．广西海洋山花岗岩基特征及其含矿性．广西地质．1999，12(3)，7～12

[16] 杨永义．腾冲-梁河地区斑岩地质特征及含矿性判别．云南地质．1998，17(2)，138～43

[17] 任进，周珣若等．长江中下游地区花岗岩潜在含矿性特征的研究．现代地质．1995，

9（1），42～50

[18] 赵清泉. 构造地球化学-判别分析在找矿中的应用-以呼盟甲乌拉银多金属矿床为例. 矿产与地质. 2005，19（4），414～417

[19] 廖永璋，孙南圭，余根峰. 长江中下游岩浆岩含矿性的定量判别及若干岩体的含矿类型预测. 中国科学院南京地质矿产研究所所刊. 1986，7，31~15

[20] 汪雄武，王晓地. 花岗岩成矿的地球化学判别标志. 华南地质与矿产. 2001，4，36～44

[21] 邢文臣，余根峰，季绍新. 西藏花岗岩体含矿性的判别. 火山地质与矿产. 1998，19（3），196~204

[22] 赵玉琛. 华南花岗岩类成矿专属性判别模型及成矿预测应用. 矿产与地质. 1992，6（1）50～62

[23] 陈岳龙. 东天山、北秦岭花岗岩类地球化学. 地质出版社. 1999年，第一版. 4～10

[24] 韩春明. 东天山铜矿区域成矿系列研究. 博士论文. 2002，5. 4～10

[25] 马瑞士，王赐银，叶尚夫等。东天山构造格架和地壳演化南京. 南京大学出版社. 1993. 第一版. 1～30

[26] 何国琦，李茂松，刘德权等。中国新疆古生代地壳演化及成矿. 新疆人民出版社. 1994. 第一版. 35～55

[27] 肖序常，汤耀庆，冯益民等. 新疆北部及其邻区大地构造. 地质出版社. 1992. 第一版. 20～60

[28] 胡霭琴，张国新，李启新. 新疆北部同位素地球化学与地壳演化，新疆北部固体地球科学新进展. 科学出版社. 1993. 第一版.

[29] 高珍全. 东天山铜金多金属成矿学及找矿系统工程学. 博士论文. 2002.5

[30] 赵渊新. 金窝子金矿床的地质特征及找矿方向. 新疆有色金属. 2004，3. 18~21

[31] 聂凤军，江思宏，赵省民，白大明，李强之，郭晓东. 北山地区照壁山金矿床地质特征及成因. 地质科学. 2004，37（2），207~218

[32] 徐国端. 新疆野马泉金矿床地质特征及成因探讨. 矿产与地质. 2004，18（5），432~435

[33] 陈振宇. 新疆东天山土屋-延东斑岩铜矿岩石矿物的某些研究. 中国地科院硕士论文. 2002.6

[34] 郎智君，师波，李天德. 新疆哈密三岔口铜矿成因探讨. 新疆地质. 1992，10（3），244~254

[35] 陈小华，江苏主要含矿花岗岩体的地球化学特征及找矿方向，地质与勘探，2004，40（5），61~66

[36] 韩吟文，马振东，张本仁等. 地球化学. 地质出版社. 2003. 第一版. 181~210

[37] 阙梅登，花岗岩浆铝碱饱和程度与矿化的关系，地质科技情报，1991，10（1），49~54

[38] 邱家骧．岩浆岩岩石学．地质出版社．1985．第一版．190~250

[39] 杨殿范等，含矿岩体的评价标志：以太行山北段四个岩体为例，吉林地质，1994，2，23~28

[40] 高子英，稀土元素在壳型花岗岩浆中的行为浅析，云南地质 ，1994，13（4）379~382

[41] 王中刚，于学元，赵振华。稀土元素地球化学．科学出版社。1989．第一版．1~6

[42] 王之田，秦克章．REE 在判别斑岩体含矿性上的应用．地质科技情报．1991，10，（2）

[43] 廖启林，赖健清．新疆北部几个金、铜矿区中酸性岩的稀土元素地球化学．桂林工学院．2003，23（1）10~17

[44] Pearce J A,Harris N B W and Tindle A G．Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks．Petrol．1984，25，956~983

[45] Annie Mchard ．Rare earth element systematics in hydrothermal fluids．Geochim Cosmochim Acta，1989，53：745~750

[46] 张增杰，陈衍景，陈华勇，鲍景新，天山海西期不同类型花岗岩类岩石化学特征及其地球动力学意义，矿物岩石，2003，23（1）15~24

[47] Morteani G，Moller P，Hoefs J．Raer-earth element and oxygen isotope studies of altered variscan granites：The wastern Harz (Germany) and southern Sardinia(Italy) ．Chem．geol，1986，54：53~68

[48] 韩金炎．数学地质．煤炭工业出版社．1987，第一版．220~245

致 谢

三年硕士研究生学习即将结束，心中百感交集。回首三年来，我感受到了求学的苦与乐，期间的经历将成为我生命中的沉淀，激励着我在今后的学习、工作和生活不断进步。

衷心感谢恩师黄建华副教授。三年来，黄建华老师在学习、科研、生活等诸多方面都给了我无微不至的关怀与帮助。黄老师严谨的治学态度、渊博的学识、宽厚友善、乐观豁达的人生态度、敬业的工作作风深深的影响着我，并让我终身受益！从论文的选题、资料收集、拟定提纲、修改到定稿都是在黄老师的指导下完成，其中倾注了老师大量的心血。

衷心感谢孙宝生老师、吴兆宁老师对本文提出宝贵意见。

衷心感谢班主任韩清老师在学习生活中给予的关怀和帮助，让我得以顺利完成学业。

在多年的学习生活中，还得到了许多领导和老师的热情关心和帮助，如杨向荣老师、韩文清老师等。

感谢同窗张健、王成、杨奉广、李啸虎、李沫、黄昭权对本文给予的关心和帮助。感谢我的师弟戚冉在论文后期工作中给予的关心和帮助。

感谢我的好友多佳、张楠楠、侯小静、姚雪梅、马欢、祈明霞，她们组成了一个学术气氛活跃、开发水平卓越、团结互助、积极向上的研究生团体，让我能够在愉悦的学习和生活环境下完成本论文。此外，还要感谢研究生就读期间，身边每一位关心并指导过我的领导、老师和同学。

最后，我要特别感谢我的父母和家人，他们给予了我最无私的关爱和支持，是我动力的源泉。我会在以后的工作、学习中继续努力，不断的超越自我，作为对所有关心支持我的人们的回馈。

赵晶

2006 年 5 月

在校期间发表论文

[1]赵晶. 氧同位素在地质中的应用. 山东科技信息. 2006 年第 5 期 110
[2]赵晶，黄建华. 新疆觉罗塔格海西期花岗岩稀土元素特征. 西部探矿工程. 2006 年第 7 期

学位论文独创性申明

本人声明，所呈交的学位论文系本人在导师指导下独立完成的研究成果。文中依法引用他人的成果，均已做出明确标注或得到许可。论文内容未包含法律意义上已属于他人的任何形式的研究成果，也不包含本人已用于其他学位申请的论文或成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

本人如违反上述声明，愿意承担由此引发的一切责任和后果。

论文作者签名：赵鹏　　日期：2006年 5 月29日

学位论文知识产权权属声明

本人的学位论文是在学期间在导师指导下完成的，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为新疆大学。

本学位论文属于：

保密 □，在　　年解密后适用于本声明。

不保密□√。

（请在以上方框内打“√”）

论文作者签名：赵鹏　　日期：2006 年 5 月29日

导师签名：黄建华　　日期：2006 年 5 月29日

新疆东天山部分花岗岩含矿性对比分析

作者：赵晶
学位授予单位：新疆大学
被引用次数：1次

参考文献(47条)

1. 新疆维吾尔自治区地质矿产局区域地质调查大队 天山花岗岩地质 1985

2. 杨浩 东天山地区花岗岩的成因、特征、分布规律及其构造背景和成矿关系[学位论文] 1988

3. 杨兴科. 程宏宾. 姬金生. 罗桂昌. 陶洪祥 东天山金铜成矿背景与成矿系统分析[期刊论文]-西安工程学院学报 2000(2)

4. 刘建 东天山区域地壳地球化学元素系列丰度值[学位论文] 2002

5. 姬金生. 陶洪祥. 曾章仁 东天山康古尔塔格金矿带地质与找矿 1993

6. 芮宗瑶. 刘玉琳. 王龙生. 王义天 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局[期刊论文]-地质学报 2002(1)

7. 廖启林. 赖健清 新疆北部几个金、铜矿区中酸性岩的稀土元素地球化学[期刊论文]-桂林工学院学报 2003(1)

8. 赵振华. 沈远超. 涂光炽 新疆金属矿产资源的基础研究 2001

9. 章邦桐. 凌洪飞. 陈培荣 多体系微量元素地球化学对比中存在的问题及解决途径[期刊论文]-地质地球化学 2003(4)

10. 刘志武 南祁连党河南山花岗岩类及含矿性研究[学位论文] 2000

11. 冯钟燕 关于亲花岗岩类矿床研究的进展和趋势[期刊论文]-地学前缘 1994(3)

12. 王书来. 秦克章. 方同辉. 彭晓明 新疆东部金矿床类型、成矿特点及找矿方向[期刊论文]-新疆地质 2002(4)

13. 周刚 吉木乃县塔斯特岩体地质地球化学特征及含矿性评价[期刊论文]-新疆地质 2000(1)

14. 印纯清 陕西秦岭曹坪花岗岩的构造环境及含矿性 1993(01)

15. 陈文伦. 廖忠直 广西海洋山花岗岩基特征及其含矿性[期刊论文]-广西地质 1999(3)

16. 杨永义 腾冲-梁河地区斑岩地质特征及含矿性判别 1998(02)

17. 任进. 周珣若 长江中下游地区花岗岩潜在含矿性特征的研究[期刊论文]-现代地质 1995(1)

18. 赵清泉. 孙传斌. 荆龙华. 王大平 构造地球化学-判别分析在找矿中的应用--以呼盟甲乌拉银多金属矿床为例[期刊论文]-矿产与地质 2005(4)

19. 廖永璋. 孙南圭. 余根峰 长江中下游岩浆岩含矿性的定量判别及若干岩体的含矿类型预测 1986(07)

20. 汪雄武. 王晓地 花岗岩成矿的地球化学判别标志[期刊论文]-华南地质与矿产 2001(4)

21. 邢文臣. 余根峰. 季绍新 西藏花岗岩体含矿性的判别 1998(03)

22. 赵玉琛 华南花岗岩类成矿专属性判别模型及成矿预测应用 1992(01)

23. 陈岳龙 东天山、北秦岭花岗岩类地球化学 1999

24. 韩春明 东天山铜矿区域成矿系列研究[学位论文] 2002

25. 马瑞士. 王赐银. 叶尚夫 东天山构造格架和地壳演化南京 1993

26. 何国琦. 李茂松. 刘德权 中国新疆古生代地壳演化及成矿 1994

27. 肖序常. 汤耀庆. 冯益民. 赵民. 冯益民. 朱宝清 新疆北部及其邻区大地构造 1992

28. 胡霭琴. 张国新. 李启新 新疆北部同位素地球化学与地壳演化 1993

29. 高珍全 东天山铜金多金属成矿学及找矿系统工程学[学位论文] 2002

30. 赵渊新 金窝子金矿床的地质特征及找矿方向[期刊论文]-新疆有色金属 2004(3)

31. 聂凤军. 江思宏. 赵省民. 白大明. 李强之. 郭晓东 北山地区照壁山金矿床地质特征及成因[期刊论文]-地质科学 2002(2)

32. 徐国端 新疆野马泉金矿床地质特征及成因探讨[期刊论文]-矿产与地质 2004(5)

33. 陈振宇 新疆东天山土屋-延东斑岩铜矿岩石矿物的某些研究[学位论文] 2002

34. 郎智君. 师波. 李天德 新疆哈密三岔口铜矿成因探讨 1992(03)

35. 陈小华 江苏主要含矿花岗岩体的地球化学特征及找矿方向[期刊论文]-地质与勘探 2004(5)

36. 韩吟文. 马振东. 张本仁 地球化学 2003

37. 阙梅登 花岗岩浆铝碱饱和程度与矿化的关系 1991(01)

38. 邱家骧 岩浆岩岩石学 1985

39. 杨殿范 含矿岩体的评价标志:以太行山北段四个岩体为例 1994(02)

40. 高子英 稀土元素在壳型花岗岩浆中的行为浅析 1994(04)

41. 王中刚. 于学元. 赵振华 稀土元素地球化学 1989

42. 王之田. 秦克章 REE在判别斑岩体含矿性上的应用 1991(02)

43. Pearce J A. Harris N B W. Tindle A G Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks 1984

44. Annie Mchard Rare earth element systematics in hydrothermal fluids 1989

45. 张增杰. 陈衍景. 陈华勇. 鲍景新. 刘玉林 天山海西期不同类型花岗岩类岩石化学特征及其地球动力学意义[期刊论文]-矿物岩石 2003(1)

46. Morteani G. Moiler P. Hoefs J Raer-earth element and oxygen isotope studies of altered variscan granites:The wastern Harz (Germany) and southern Sardinia(Italy) 1986

47. 韩金炎 数学地质 1987

本文读者也读过(10条)

1. 李伍平. 王涛. 李金宝. 康旭. 于福生. 韩庆军. 马忠平 东天山红柳河地区晚加里东期花岗岩类岩石锆石U-Pb年龄及其地质意义[期刊论文]-地球学报2001,22(3)

2. 校培喜. 黄玉华. 王育习. 王兴安. XIAO Pei-xi. HUANG Yu-hua. WANG Yu-xi. WANG Xing-an 新疆库鲁克塔格地块东南缘钾长花岗岩的地球化学特征及同位素测年[期刊论文]-地质通报2006,25(6)

3. 顾连兴. 苟晓琴. 张遵忠. 吴昌志. 廖静娟. 杨浩. 尹琳. 闵茂中 东天山一个多相带高铷氟花岗岩的地球化学及成岩作用[期刊论文]-岩石学报2003,19(4)

4. 汪传胜. 张遵忠. 吴昌志. 唐俊华. 邵毅. 刘四海. 冯慧. 雷如雄. WANG Chuan-sheng. ZHANG Zun-zhong. WU Chang-zhi. TANG Jun-hua. SHAO Yi. LIU Si-hai. FENG Hui. LEI Ru-xiong 东天山八大石早二叠世二长花岗岩中闪长质包体的特征、锆石定年及其地质意义[期刊论文]-岩石矿物学杂志2009,28(4)

5. 李文铅. 夏斌. 王克卓. 王茜. 王核. LI Wenqian. XIA Bin. WANG Kezhuo. WANG Qian. WANG He 新疆东天山彩中花岗岩体锆石SHRIMP年龄及地球化学特征[期刊论文]-地质学报2006,80(1)

6. 司国辉 新疆哈密库姆塔格沙垄北段花岗岩类研究[学位论文]2007

7. 张遵忠. 顾连兴. 杨浩. 吴昌志. 王银喜. 闵茂中. ZHANG ZunZhong. GU Lianxing. YANG Hao. WU ChangZhi. Wang Yinxi. MIN Maozhong 东天山平顶山巨眼球状片麻状花岗岩特征及成因[期刊论文]-岩石学报2005,21(3)

8. 李伍平. 王涛. 李金宝. 康旭. 于福生. 韩庆军. 马忠平 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境[期刊论文]-地质论评2001,47(4)

9. 李永军. 佟丽莉. 杜志刚. 杨俊泉. 司国辉. 李新光. LI Yong-jun. TONG Li-li. DU Zhi-gang. YANG Jun-quan. SI

Guo-hui.LI Xin-guang 东天山库姆塔格垄东岩体岩石地球化学特征及构造意义[期刊论文]-地质科技情报 2007,26(6)

10. 孙桂华.李锦轶.王德贵.高立明.宋安江.SUN Gui-hua.LI Jin-yi.WANG De-gui.GAO Li-ming.SONG An-jiang 东天山阿其克库都克断裂南侧花岗岩和花岗闪长岩锆石SHRIMP U-Pb测年及其地质意义[期刊论文]-地质通报 2006,25(8)

引证文献(1条)

1.贺胜辉,陈贤胜,荣惠锋 西藏曲水县北东才隆岩体成因及找矿前景[期刊论文]-地质与资源 2014(04)

引用本文格式：赵晶 新疆东天山部分花岗岩含矿性对比分析[学位论文]硕士 2006