分类号：_____ 密级：_____

编号：102010030

# 桂林理工大学

## 硕士研究生学位论文

# 新疆库鲁克塔格地区岩浆岩型铁磷矿床地质与地球化学特征及成矿模式研究


专　　业：地球化学

研究方向：深穿透地球化学

研 究 生：李春阳

指导教师：罗先熔 教授


论文起止日期：2012 年 5 月至 2013 年 4 月

# A Research on Geological-Geochemical Characteristics and Metallogenic model of Magnetite-Apatite Deposits in Region of Kuluketage Zone, Xinjiang Province


Major：Geochemistry

Direction of Study：Deep-penetrating Geochemistry

Graduate Student： Li Chunyang

Supervisor： Prof. Xianrong Luo

College of Earth Sciences
Guilin University of Technology



May,2012 to April,2013

# 研究生学位论文独创性声明和版权使用授权书

## 独 创 性 声 明

本人声明：所呈交的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，论文中不包含他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。对论文的完成提供过帮助的有关人员已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者（签字）：李秀阳

签字日期：2013年6月12日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解(学校)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印刷本和电子版本，允许论文被查阅和借阅。本人授权(学校)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。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。(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：李秀阳　　导师签字：

签字日期：2013年 6月 12日　　签字日期：2013年 6 月 13日

# 摘要

新疆库鲁克塔格地区分布有重要的基性—超基性杂岩带，同时也是十分重要的铜、镍、铁、磷矿的成矿带，其中铁磷矿具有良好的找矿前景。

为改善我国北方缺磷的现状。本文通过收集整理研究区内区域地质、构造、基性—超基性杂岩体的地质及地球化学资料，重点探索研究区内卡乌留克塔格、大西沟、团结村北山铁磷矿矿床地质特征、显微特征、地球化学特征，分析矿床成因，建立该类型矿床的成矿模式。对比我国河北矾山岩浆岩型铁磷矿矿床的地球化学特征，总结区内岩浆岩型铁磷矿矿床的主量元素、稀土元素、微量元素与成矿的关系，并提出 M/F 比值、分异指数（SI）对含矿性的判别。

取得以下主要研究成果和认识：

1）研究区内含矿杂岩体为基性—超基性，富铁质，属偏碱性岩玄武岩系列。杂岩体的分布明显受尉犁—兴地大断裂控制，多侵位于次级断裂与大断裂的交汇部位。岩体磁异常明显，基本与大断裂南侧正值区的高值异常范围吻合。杂岩体多为不同类型岩石组成，反映了岩体是由岩浆多期次的侵入形成。其中，含矿岩石类型主要有辉石岩、斜长岩等。

2）研究区内发现的铁磷矿均为岩浆岩型，矿体为层状、似层状、透镜状，产状平缓，矿体延伸稳定。矿石类型主要为块状磁铁矿磷灰石矿、浸染状磁铁矿磷灰石矿。矿石矿物为磁铁矿、磷灰石。矿石化学分析显示，钒、钛以及稀土元素可综合利用。矿体与围岩均没有明显的界线，呈过渡关系。

3）含矿岩体具有低硅高碱的特点，矿体与围岩的微量元素、稀土元素特点基本相同。其中微量元素特征显示大离子亲石元素 K、Ba、Sr 强烈富集，岩石中元素 Cr、Co、Ni 等含量相对较低；稀土元素特征表现为轻稀土元素富集，无 Eu 或弱的负 Eu 异常。说明含矿岩体是地壳物质和地慢岩的深部混合作用的产物。

4）研究区内尉犁—兴地深大断裂主导了含矿岩浆的上升和运移，富 Fe-P 的岩浆蒸气原始岩浆经深大断裂上升，萃取了地壳岩层中的 Ca、Cl 和 $H_2O$，在热液大气降水流体的参与下，含矿不混熔岩浆不同序次的侵位或贯入。建立了深大断裂—富铁磷的岩浆—岩浆分异作用的成矿模式。

5）通过研究区内岩浆岩型典型铁磷矿的地质、磁法、地球化学特征，提出了找矿标志：a.与尉犁—兴地大断裂交汇的次级断裂；b.基性—超基性杂岩侵入体；c.磁异常为间接找矿标志；d.化探元素组合多表现为 Fe、P、Ti、REE 异常。

6）通过研究典型矿床的地球化学特征与成矿关系，主量元素表现为 $P_2O_5$ 与 $SiO_2$、$Al_2O_3$、FeO、$K_2O$ 成负相关，其中与 $SiO_2$ 负相关性明显；$P_2O_5$ 与 $TiO_2$、$Fe_2O_3$、CaO 呈正相关。含矿基性—超基性杂岩体中稀土元素含量与 $P_2O_5$ 含量关系密切，呈正相关关系。

7）当 M/F 比值 0.5～2 时，富铁质超基性岩及铁质基性岩不是前人研究总结的无矿，而是岩浆岩型铁磷矿的有利成矿原岩。$P_2O_5$ 含量与含矿岩体的固结指数（SI）大致呈负相关关系。研究区内含矿岩体的 M/F 比值、分异指数（SI）与河北矾山铁磷矿近似，推测研究区内杂岩体具有良好的铁磷矿找矿前景。

**关键词：岩浆岩型铁磷矿 地质、地化特征 成矿关系 成矿模式 新疆库鲁克塔格**

# Abstract

Kuluketage zone,Xinjiang province is an important basic ultrabasic complex rock belt, is also the very important copper, nickel, iron, phosphate ore metallogenic belt, where has good magnetite-apatite ore prospects.In order to improve conditions of phosphorus deficiency in North China. In this paper, we research regional geology,structure,basic ultrabasic complex bodies and geological features, microscopic characteristics, geochemical characteristics of Kawuliuketage Daxigou, Tuanjiecunbeishan magnetite-apatite deposits, analysis their genesis, build metallogenic model of ore deposits of this type through the collection of geological and geochemical data in the study area.

In contrast to geochemical characteristics of magnetite-apatite typical ore deposit in Hebei Fanshan,, we sum up the relations of magnetite-apatite ore deposit of in study area between the major elements, REE, trace element and the mineralization,put forward M/F ratio, index of differentiation ( SI ) on the discrimination of ore bearing.

Made the following main research results and understanding:

1) The ore-bearing complex is a basic ultrabasic, rich in iron, belong to the alkaline basalt series of rock in the study area. Distribution of the complex rock is obviously controlled by Yuli - Xingdi fault, multiple emplaced in the intersection part of secondary fault and fracture. Magnetic anomaly is very obvious, high value is in positive anomaly range on the south area of. Complex is composed of different types of rocks, reflects the rock mass is composed of many times of invasion and the formation of magma. pyroxenites, anorthosite are mainly the ore-bearing rock types.

2) Magnetite-apatite deposits in the study are are magmatic types, ore bodys are layered, stratoid, lenticular. Dip is flat. Ore types are mainly massive magnetite and apatite. Ore minerals are magnetite, apatite. Chemical analysis showed that ore, vanadium, titanium and rare earth elements can be comprehensive utilization. The ore body and wall rock have no obvious boundaries, is the transition relation.

3) The ore-bearing rock has the characteristics of low silicon high alkali. Trace elementsand REE characteristics of the ore body and surrounding rock is basically the same. The characteristics of trace elements show large ion lithophile elements K, Ba, Sr,strong enrichment of Cr, Co, rock elements, Ni content is relatively low; the characteristics of rare earth elements showed enrichment of light rare earth elements, without Eu or weak negative Eu anomaly. Description of ore-bearing rock is a product of deep mixed crust and mantle.

4)Yuli - Xingdi deep fault dominates the ore-bearing magma ascent and migration, Fe-P rich magmatic vapor primitive magma by deep fault rise, extraction of crustal rock in Ca, Cl and $H_2O$ in atmospheric precipitation, hydrothermal fluid participation, immiscible magma invasion of different order or penetration ore. we establish deep fault - iron rich phosphorus magma-magmatic differentiation metallogenic model.

5) We show the prospecting marks through the study of magmatic rock type magnetite-apatite ore geology, magnetic, geochemical characteristics: a. Yuli-Xingdi fault secondary faults intersection; b. basic ultrabasic intrusive complex body; c. magnetic anomaly as indirect prospecting; d. geochemical elements show Fe, P, Ti, REE anomaly.

6) The geochemical characteristics and metallogenic relationship study of typical deposits show major elements for $P_2O_5$ and $SiO_2$,$Al_2O_3$,FeO,$K_2O$ were negatively correlated, which obviously negative correlation with $SiO_2$;$P_2O_5$ was positively correlated with $TiO_2$, $Fe_2O_3$, CaO. The ore-bearing basic ultrabasic complex relationship of rock REE content and $P_2O_5$ content closely, and there was a positive correlation between them.

7) When the M/F ratio of 0.5 ~ 2, iron-rich ultramafic rocks and mafic rocks instead of previous research summary of the barren, but is magmatic iron ore metallogenetic protolith. Consolidated index $P_2O_5$ and the content of ore-bearing rock (SI) are negatively related to. The ratio of M/F, the study area contains the ore rock differentiation index (SI) approximation and Hebei Fanshan magnetite-apatite, presumably complex has good magnetite-apatite ore prospects in the study area.



**Key words:** magnetite-apatite of magma type ,geology and geochemistry characteris -tics,mineralization relation,metallogenic model,Kuluketage Xinjiang

# 目 录

**摘要** ..... I

**ABSTRACT** ..... II

**第 1 章 绪论** ..... 1

1.1 选题依据及研究意义 ..... 1
1.2 自然地理及经济条件 ..... 1
1.2.1 交通位置 ..... 1
1.2.2 自然地理及经济条件概况 ..... 1
1.2.3 经济概况 ..... 2
1.3 相关领域的研究现状及存在问题 ..... 3
1.3.1 研究现状 ..... 3
1.3.2 存在的问题 ..... 4
1.4 研究思路、研究内容 ..... 4
1.4.1 研究思路 ..... 4
1.4.2 研究内容 ..... 5
1.5 完成的主要工作量 ..... 5

**第 2 章 区域地质概况** ..... 7

2.1 大地构造背景 ..... 7
2.2 区域地层 ..... 8
2.3 构造 ..... 9
2.3.1 褶皱 ..... 10
2.3.2 断裂 ..... 10
2.4 区域岩浆岩及分布 ..... 11
2.5 研究区内矿产概况 ..... 13
2.6 区域航磁异常特征特征 ..... 13
2.7 区域地球化学特征 ..... 14

**第 3 章 研究区基性—超基性杂岩体地质及地球化学特征** ..... 16

3.1 基性—超基性杂岩体地质特征 ..... 16
3.2 基性—超基性杂岩体地球化学特征 ..... 19

**第 4 章 已发现的铁磷矿矿床地质及地球化学特征** ..... 21

4.1 卡乌留克塔格铁磷矿矿床 ..... 21
4.1.1 矿区地质 ..... 21
4.1.2 地面磁异常特征 ..... 23
4.1.3 矿体地质 ..... 24
4.1.4 矿石特征 ..... 27
4.1.5 矿体围岩 ..... 29
4.1.6 矿床地球化学特征 ..... 29
4.2 大西沟铁磷矿 ..... 32
4.2.1 矿区地质 ..... 32
4.2.2 地面磁异常特征 ..... 34
4.2.3 矿体地质 ..... 35
4.2.4 矿石特征 ..... 36
4.2.5 矿体围岩 ..... 37
4.2.6 矿床地球化学特征 ..... 37

4.3 团结村北山铁磷矿 ..... 41
4.3.1 矿区地质 ..... 41
4.3.2 地面磁异常特征 ..... 42
4.3.3 矿体地质 ..... 43
4.3.4 矿石特征 ..... 44
4.3.5 矿体围岩 ..... 44
4.3.6 矿床地球化学特征 ..... 45
**第 5 章 矿床成因与成矿模式 ..... 48**
5.1 矿床成因及找矿标志 ..... 48
5.1.1 矿床成因 ..... 48
5.1.2 找矿标志 ..... 49
5.2 成矿模式 ..... 49
**第 6 章 地球化学特征研究意义 ..... 51**
6.1 地球化学特征与成矿关系 ..... 51
6.1.1 主量元素与成矿关系 ..... 51
6.1.2 微量元素与成矿的关系 ..... 53
6.1.3 稀土元素与成矿关系 ..... 53
6.2 含矿性的判别 ..... 54
6.2.1 M/F 比值与成矿关系 ..... 54
6.2.2 固结指数与成矿关系 ..... 56
**第 7 章 结论及存在的问题 ..... 57**
7.1 结论 ..... 57
7.2 主要创新点 ..... 58
7.3 存在的问题 ..... 58
**参考文献 ..... 59**
**个人简历，申请学位期间的研究成果及发表的学术论文 ..... 64**
发表的论文 ..... 64
参加的项目 ..... 64
致谢 ..... 65

# 第 1 章 绪论

## 1.1 选题依据及研究意义

我国北方地区磷矿资源匮乏，已开采的矿床多为岩浆岩型[1]。沉积型磷矿多为小型，不具备开采价值。然而北方多平原，是我国重要的粮食基 地，需大量的磷肥，供需矛盾严重。库鲁克塔格地区地处新疆塔里木盆地台北缘，西起尉犁县的卡乌留克塔格，东至尉犁县的团结村北山一带，是我国重要的基性—超基性岩浆岩成矿带[2]。受自然地理条件的影响，该地区第四系覆盖严重，基岩出露较少。多年来，区内先后开展多项国土资源大调查项目、区域地质调查、中央地质勘查基金等项目，未能在该基性—超基性杂岩带内发现有价值的铜镍矿床，却发现了多处岩浆岩型铁磷矿矿床及矿点，区内迄今为止已先后新发现卡乌留克塔格、奥尔塘、大西沟等多处基性—超基性杂岩体，并投入了一部分地质普查工作。磷矿资源的潜力很大，进一步工作具有相当大的地质及经济意义。

因此，依托 2011 年国土资源部下达的《全国优质化工矿产资源评价》项目。在收集整理原始地质资料的基础上，通过研究区内基性—超基性杂岩体的地质、地球化学特征，重点研究区内典型的岩浆岩型铁磷矿的矿区地质、含矿岩体地质特征、显微地质特征、矿体特征、矿石特征及矿床的地球化学特征，探索矿床的成因，建立该类型矿床的成矿模式。为今后研究区内研究相关的地质问题提供可靠的基础资料。研究区内已发现几处岩浆岩型铁磷矿床，对比岩浆岩型铁磷矿典型矿床河北矾山磷矿，分析地球化学特征，提出对研究区内基性—超基性岩含矿性的判别。为在区内找寻岩浆岩型铁磷矿地质找矿工作和成矿预测提供理论依据。

## 1.2 自然地理及经济条件

### 1.2.1 交通位置

研究地位于库尔勒市西南，行政区隶属于新疆尉犁县，地理坐标为东径 86° 15′ 00″～89° 00′ 00″， 北纬 40° 40′ 00″～ 41° 30′ 00″（图 1.1）。西起尉犁县的县城附近, 东至尉犁县的团结村，面积约 3000km$^2$。

研究区内城镇较少，市县乡公路相通，其余大部分地区均可通行汽车。交通条件一般，少数交通不便的地区也可行驶越野车，穿过戈壁滩到达，戈壁滩上汽车可行驶 15km/h。

### 1.2.2 自然地理及经济条件概况

研究区位于库鲁克塔格山系西段，天山南坡与塔里木盆地北部的结合部位。地势上

地处海拔在 1100～1300m 之间，最高达 3000m 左右，相对高差约 200～500m，地形较平坦，起伏不大，属浅切割程度的戈壁地区。

研究区内夏季酷热，冬季严寒，为典型的大陆干旱型气候。由于地处内陆，白天炎热，晚上温度低，温差悬殊。季节性温差最高可达 90° C 左右。六、七、八月温度最高，可达 42° C，平均温度 32.4° C～35．7° C，昼夜温差达 25° C～30° C。十二月至次年二月最冷，温度低，一般为-21° C～-25° C 左右。

全年雨量稀少，夏季为雨季。雨量集中，80%的降雨集中在 6～9 月，年平均降雨量为 20～30mm。蒸发量大，年平均蒸发量约为 600mm，为降水量的 20 多倍。

由于研究区内气候干燥、降雨稀少，无永久性河流。区内植被覆盖稀少，极不发育，风沙较多。夏季降雨过后，在低山丘陵之间的无水干沟形成间歇性水流，又是形成短暂洪水。

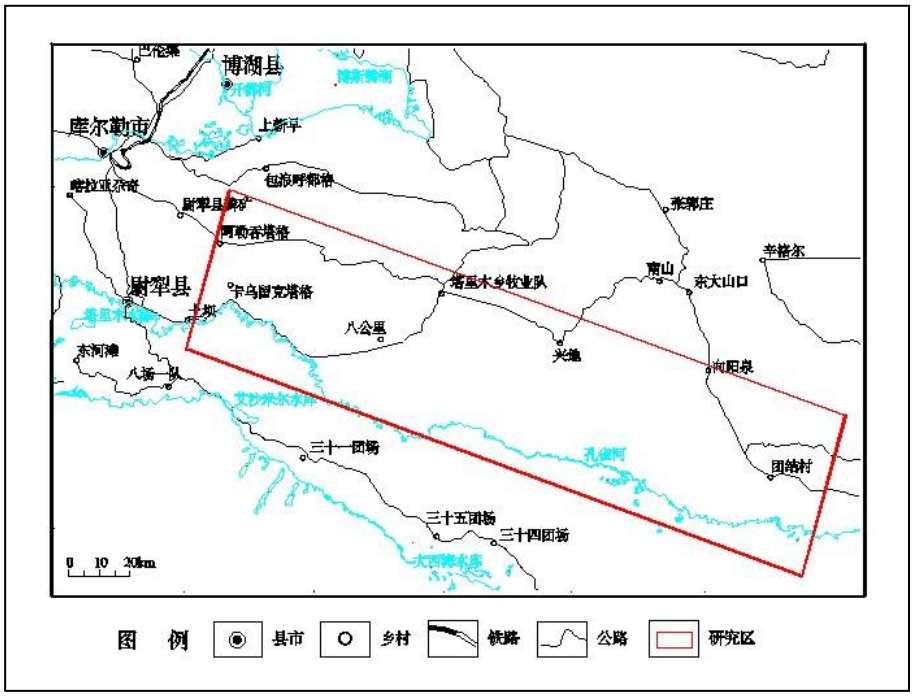



图 1.1 研究区交通位置图

### 1.2.3 经济概况

研究区内的塔里木盆地边缘以农业为主，山区以游牧业为主。区内人烟稀少，多为维吾尔族、蒙古族牧民，分布有极少量的固定居民点，区内有且干布拉克蛭石矿、天成铁矿等在开采，与外界仅有便道相连，无其它工业。区内有部分城镇可用手机通讯，生活用品多从外地运入，库尔勒市位于研究区的西北，为研究区附近最大的城市。

## 1.3 相关领域的研究现状及存在问题

### 1.3.1 研究现状

#### 1.3.1.1 国内外对岩浆岩型铁磷矿的研究现状

岩浆岩铁磷矿是磷矿的重要矿床类型，也是现今世界开采的主要磷矿类型。国外地质学家对该类型的矿床进行了一系列的研究，如瑞典 Kiruna、挪威的 Hesnes、Eigeroy 等。由于该类型矿床在我国的分布较少，所以对该类型矿床的研究相对较少。国内地质及地球化学家[3-9]对我国岩浆岩铁磷矿中的铁磷矿和磷灰石的成因进行了一些研究，具有代表性是余金杰[10]等系统研究了宁芜玢岩铁矿床中磷灰石和成矿母岩辉长闪长玢岩的稀土元素特征；河北矾山磷矿的地质、地球化学特征研究程度较高，牟保磊[11]等研究了矾山碱性岩体磷铁矿床金的地球化学特征，通过分析金在各个流体相的分布，探讨岩浆结晶分异过程；蔡俊军[12]等研究了矾山杂岩体中磷灰石组成特征，提出 $Cl^-$对磷灰石结构中的位置占影响了磁铁矿和磷灰石结晶的韵律性变化。此外，国外地质学家[13-15](Paster et al.，1974；Schock，1977；Appel，1983)研究表明，岩浆岩型铁磷矿矿床的含磷磷岩体与成矿母岩的稀土元素分配型式具有一定的相似性。利用这一特点，我们可以用含矿岩体的稀土元素特征来研究了成矿原岩的稀土元素特征[16]。

#### 1.3.1.2 研究区区域地质、矿产及科研研究现状

截止到本世纪初，新疆地矿局在研究区先后完成了区域地质测量（1：20 万）、区域化探扫面（1：20 万）工作，对区内的地层、构造、岩浆岩、矿产、水文和地貌等进行了系统的研究，积累了大量基础材料，编制了 1∶20 万相关图件和相应的文字报告。在此地质工作的基础上相继出版了《新疆维吾尔自治区地质志》、《新疆岩石地层》、《新疆区域地层表》、《新疆古生界》等著作 [17-18]。近些年，国内地勘单位先后完成多幅区域地质矿产调查（1:5 万），同时还进行了水系沉积物测量等。迄今，新疆地矿局等有关单位及我国其他省份的地勘队伍仍在研究区内进行开展 1∶5 万区域地质矿产调查工作。

库鲁克塔格地区已完成航磁测量（1∶10 万，1979），由新疆地质局物探队完成。提交相关图件和文字报告，圈定了若干磁异常。这些磁异常成为主要的找矿标志之一，尤其是 C11、C12 、C15、 C16、 C24 、C29 、C30 、C42、 C60、 C88 、C89 等航磁异常是在本区寻找岩浆岩型铁磷矿的有利范围。

新疆地矿局第三地质大队针对研究区内基性—超基性侵入岩的勘查和成矿专属性的评价开展了多项地质勘查工作，主要有：干布拉克杂岩体，进行了普查和详查的地质勘查工作，查明了一处中型的岩浆岩型铁磷矿；兴地杂岩体，进行了普查工作，查明一处小型铜镍矿床。

“七五”～“九五”期间国家 305 项目先后开展了“库鲁克塔格地区铜锌、金铅锌

成矿条件及远景评价研究”、“兴地基性—超基性杂岩带评价研究”、“塔里木盆地北缘碱性岩带稀土、宝玉石、金刚石成矿条件研究”。基本掌握了该地区的成矿条件和成矿远景。

2000 年以后，几家地质勘查单位[20-26]在研究区内做了了一些岩浆岩型铁磷矿的找矿工作。先后开展多项国土资源大调查、预查、普查、详查工作，积累了一些地质资料。对研究区内的基性—超基性侵入岩体的成矿专属性有了初步的研究，为找矿预测指出了方向[27-28]。

### 1.3.2 存在的问题

以往的地质工作为我们开展岩浆岩型磷矿的找矿评价提供了大量资料，对区内地层、构造、岩浆岩、成矿背景有了一些认识。但涉及岩浆岩磷矿为主的地质评价工作较少，只对区内的个别矿床进行地质普查，而对库鲁克塔格地区的岩浆岩型磷成矿带还未做过系统的岩石特征、矿体特征、地球化学特征研究，对 $P_2O_5$ 与其他元素的关系及地球化学行为并未进行综合研究评价工作。

此外，前人对研究区内的基性—超基性杂岩体进行了一些的地质找矿工作，但研究程度一般。对此类基性—超基性岩的含矿性研究很少，如铁镁比值（M/F）为 0.5～2 时，简单的判定为无矿，未能对其含矿性的判别提出了相应的参数设置。

## 1.4 研究思路、研究内容

### 1.4.1 研究思路

库鲁克塔格地区岩浆岩型磷矿矿床的形成与本区的大地构造背景、岩浆活动以及深大断裂控矿有关，研究区内的基性—超基性杂岩体的岩石与地球化学组成提供了岩浆起源、运移、就位等演化方面的成因信息。因此，本文从基性—超基性杂岩体和区内的典型矿床入手，野外地质观察与室内研究相结合，运用地质学、矿床地球化学等技术，详细阐述研究区内岩浆岩型铁磷矿的地质特征、地球化学特征，注重地球化学分析测试方法的有效性以及数据的真实性；对比国内外地质学家对岩浆岩铁磷矿的成因研究，着重分析含矿岩体的主量元素、微量元素、稀土元素对成矿物质来源的反映，研究该地区岩浆岩型铁磷矿的矿床成因，建立成矿模式；总结磷灰石中 $P_2O_5$ 与主量元素、微量元素和稀土元素对比表现出来的特征，选择具有判别功能的地球化学判别参数，为今后对该类型的基性—超基性杂岩体含矿性的判别提供支撑。

具体工作如下，首先充分收集前人在研究区内完成的区调报告、矿产地质勘查报告、科研报告，整理并阅读涉及本区地质演化、区域地质背景的专著和文献；根据开题报告的实施方案，提出完成毕业论文所需要的进一步工作；依托合作单位的地质项目，补充完成库鲁克塔格地区的地质调查、路线地质剖面观察和矿点调查工作，着重调查研究区

内的各个典型矿床，整理包括地质填图、地质剖面实测、磁法测量工作的资料，在编录槽探、钻孔的过程中，采集所需的样品；室内进行岩矿鉴定、地球化学分析测试，整理分析数据与地质图件，编辑相关图件；最后，通过对以上工作成果的分析研究完成对论文的编写。

### 1.4.2 研究内容

综合分析研究区的地质演化及成岩成矿条件，收集整理该区内典型岩浆岩型铁磷矿矿床的地质、地球化学特征资料，在广泛收集资料的基础上，主要开展以下多项研究工作：

1）成矿地质背景研究。主要包括大地构造及演化、区域地层、区域构造、区域岩浆岩、区域地球物理、区域地球化学及区域矿产分布特征等研究。

2）基性—超基性岩的研究。主要包括研究区内杂岩体的分布、地质及地球化学特征。

3）典型矿床的研究。主要包括矿区地质、构造、岩浆岩的特征；矿床地质特征、矿体特征、矿石特征、矿体围岩等。

4）地球化学特征研究。主要包括研究区内矿床的主量元素、微量元素、稀土元素的地球化学特征研究；分析其与成矿元素 $P_2O_5$ 的关系。

5）分析矿床成因，建立其成矿模式。

6）区内基性—超基性杂岩体含矿性判别的研究，主要为各个地球化学元素的比值关系，提出 M/F 比值、分异指数（SI）对含矿性的判别参数。

## 1.5 完成的主要工作量

论文准备工作始于 2011 年 1 月，至 2013 年 3 月连续两年多不间断地对库鲁克塔格地区岩浆岩型铁磷矿进行研究工作，主要为野外和室内工作相结合，野外工作主要包括地质测量、磁法测量、槽探和钻探的编录工作，室内工作主要为地球化学分析（主量元素、稀土元素、微量元素）、岩矿鉴定等工作。主要工作量详见表 1.1。

表 1.1　项目工作量完成情况

| 序号 | 工作项目名称 | 单　位 | 完成工作量 | 完成者 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 路线地质调查 | km | 50 | 他人 |
| 2 | 实测地质剖面 | km | 5 | 与他人合作 |
| 3 | 矿点检查 | 个 | 4 | 与他人合作 |
| 4 | 1:1 万地质修图 | $km^2$ | 20 | 他人 |
| 5 | 1:1 万物探（磁法） | $km^2$ | 23 | 他人 |
| 6 | 槽探编录 | m | 3000 | 他人 |

| 序号 | 工作项目名称 | 单　位 | 完成工作量 | 完成者 |
|---|---|---|---|---|
| 7 | 钻孔编录 | m | 5000 | 他人 |
| 8 | 薄片鉴定 | 件 | 50 | 与他人合作 |
| 9 | 硅酸岩化学全分析 | 件 | 20 | 他人 |
| 10 | 铁磷矿品位分析 | 件 | 50 | 他人 |
| 11 | 岩（矿）石微量元素 | 件 | 15 | 与他人合作 |
| 12 | 稀土元素分析 | 件 | 15 | 与他人合作 |
| 13 | 地质照相及显微照相 | 件 | 20 | 与他人合作 |
| 14 | 地质剖面图、平面图编绘 | 幅 | 15 | 与他人合作 |

# 第 2 章 区域地质概况

## 2.1 大地构造背景

研究区的大地构造位置位于塔里木地块北缘，陆缘活动带库鲁克塔格地块内（图 2.1）[29-31]。早太古代主要形成了原始的塔里木陆核；晚太古代时期，库尔勒以东至卡拉卡苏一带为较广阔的地槽拗陷，沉积了较厚的钙质、泥质、砂质的沉积岩。元古代研究区发生了明显的升降运动。碎屑岩和碳酸盐岩广泛沉积，并有藻类植物等[32-36]；元古代晚期，兴地运动开始，形成造山活动，岩浆活动强烈。塔里木地块北缘的古海槽转变为地台，并伴有基性—超基性杂岩体的侵入。

早加里东期，主要为由震旦纪组成的沉积盖层。主要为砂砾岩、碎屑岩、火山岩和含藻灰岩建造。该时期无明显岩浆活动[37]。

寒武世—奥陶世，塔里木地台北缘为拉张环境，形成扩张洋盆。碳酸盐岩沉积发育，后期沉积泥岩。早泥盆世海域扩张迅速，形成以碳酸盐为主的沉积。期间形成了由基性、超基性岩组成的蛇绿岩。

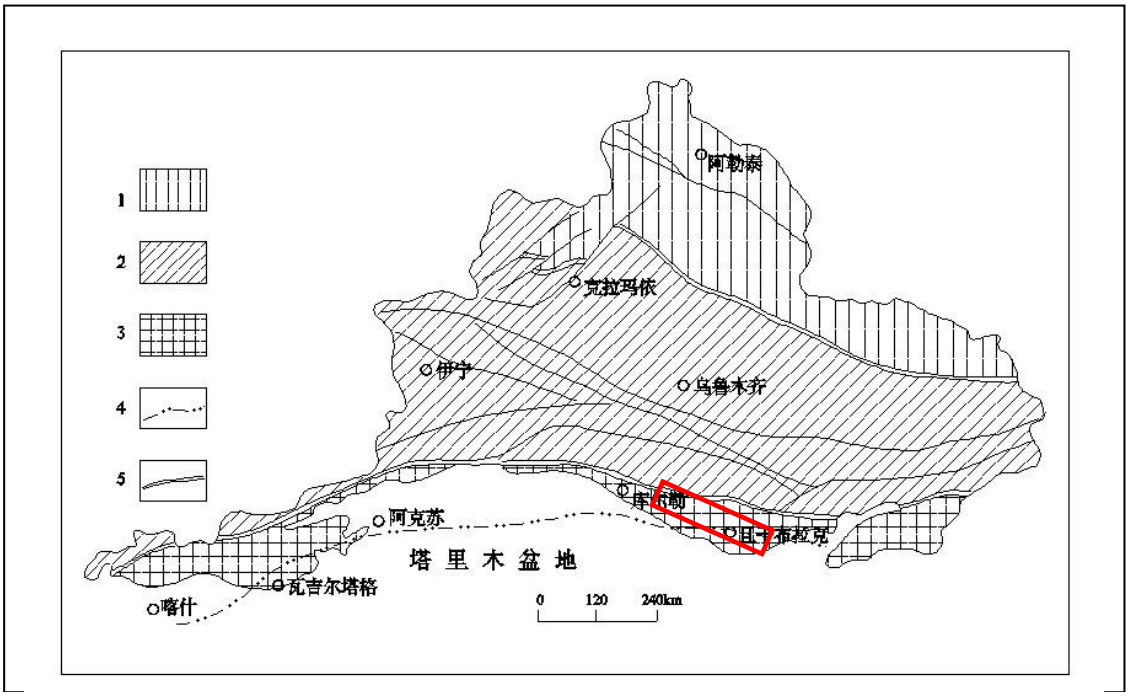



图 2.1 塔里木准地台北缘大地构造示意图

1-西伯利亚地块；2-哈萨克斯坦地块；3-塔里木地块；4-陆内深断裂带；5-陆边活动断裂带

4

，盖

层褶

时期

的产



华力西晚期造山运动之后，塔里木地块北缘地区上升，本区基本处于剥蚀状态。

晚喜马拉雅运动中，本区缓慢抬升，研究区西段发生碱性玄武岩岩浆活动。

## 2.2 区域地层

研究区地层属北疆—兴安大区，塔里木地层塔北地分区层。由前震旦变质基底、震旦系和古生界盖层及中新生界后地台盖层组成。地层总体呈北西—南东向分布，连续性较好。第四系覆盖严重，主要出露有太古界、元古界、古生界地层（图 2.2）。简述如下：

**太古界**

托格拉克布拉克群，主要在研究区的北部和西北部出露，出露面积较小。岩石变质程度较高，达到中—深度变质。岩性主要为斜长角闪片麻岩、斜长片麻岩、混合花岗片麻岩及各类变粒岩。

**元古界**

兴地塔格群，主要分布于研究区的中部。兴地村以南附近，为一套变质岩系，变质程度中等，为角闪—绿帘片岩相。主要岩性为石英片岩、变质砂岩、石英岩和大理岩、细碎屑岩夹基性火山岩。特征矿物为十字石、石榴石、蓝晶石、矽线石。原岩为一套由海相碎屑岩—碳酸盐建造。其中上部为各类片岩、大理岩夹变质砂岩；下部为石英岩及黑云母石英片岩、大理岩互层，各岩性厚度不大。该地层变质程度不均匀，沿走向上方向相变剧烈。

库鲁克塔格群，主要分布于研究区的西北端和中部。岩性主要为板岩、砂岩、冰碛砾岩、硅质岩、砂质泥岩、页岩夹火山岩。根据分析化学成分的数据表明，碎屑岩为活动的大陆边缘盆地沉积。

**古生界**

寒武系，研究区内零星分布。岩性主要为硅质岩、白云岩、砂岩、碳酸盐岩，并含有少量火山岩，岩层厚度较大。

奥陶系，研究区内零星分布。为一套浅海相碳酸盐岩和碎屑岩。下统岩性主要为层状灰岩及钙质页岩互层。中统为灰色灰岩、硅质岩、炭质页岩及砂岩互层。上统岩性为炭质粉砂岩、泥钙质粉砂岩。局部出现碳酸盐岩，含珊瑚和头足类化石。与寒武系地层整合接触。

泥盆系，研究区内零星分布。为一套陆相碎屑沉积岩。岩性为长石砂岩、砂岩、层状砾岩、含砾砂岩、粗砂岩，不均匀互层。与下伏奥陶系地层整合接触。

石炭系，研究区内零星分布。为一套浅海相碎屑岩和碳酸盐岩，岩性主要灰色灰岩、砂岩及粉砂岩。

**中生界**

三叠系，研究区内零星分布。为内陆盆地相的砾岩、砂岩。与上覆下侏罗统不整合接触。

侏罗系，岩性为灰绿色、灰白色砂砾岩、砾岩、细砂岩夹泥岩、粉砂岩。

白垩纪，为陆相沉积。岩性为杂色砂岩夹粉砂岩、泥岩。

**新生界**

第三系，多为陆相碎屑岩建造，沉积中心可少见少量泥岩夹层。岩性为砂岩夹粉砂岩、泥岩、石膏层及白云岩薄层。与下伏白垩系呈平行不整合接触。

第四系，主要分布在研究区的中南部及西北端。为冲洪积堆积物，由砾石、砂及少量粘土组成。分布比较广泛，主要覆盖于研究区的一些地势低洼处。

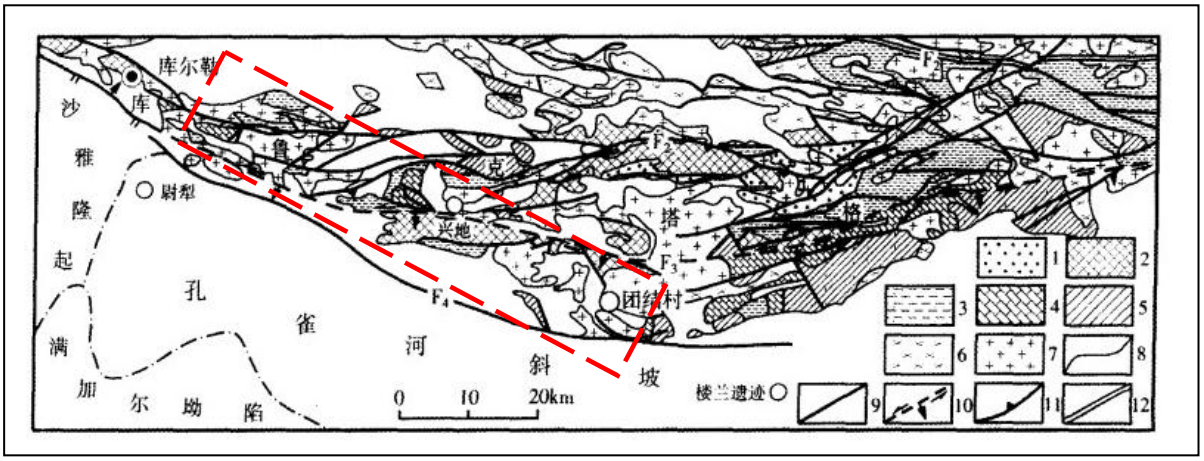



图 2.2 库鲁克塔格地区区域地质略图

1-太古界；2-古元古界；3-中元古界；4-新元古界；5-古生界；6-泥盆—石炭系；7-花岗岩； 8-地质界线；9-性质不明断裂；10-走滑断裂；11-逆冲推覆断裂；12-缝合带；F 1 —巴仑台—库米什板块缝合带；F2 —辛格尔断裂；F3 —尉犁—兴地大断裂；F4 —孔雀河断裂；

## 2.3 构造

根据整理的地质、物探、遥感影像资料显示，研究区内地质构造复杂。其不同的地壳部分经历了不同的演化过程。地台边缘的稳定地带与活动地带相互转换，并且为突变式的发展。研究区中部尚能辨认出有由早太古代组成的稳定地带存在。可追溯最早的构造运动为晚太古代，形成了研究区地块基底的最老的陆核。晚太古代的褶皱隆起，使基底有很大的增长。

在前震旦纪漫长的历史发展过程中，虽然有过间断性的相对稳定时期，但基底固结不够坚硬，地壳活动强烈。多次造山运动，岩浆活动频繁，变质作用强烈。在塔里木地台的发展过程中，基底不断隆起，断裂活动明显，断裂带内发生大规模的华力西期花岗岩类广泛和多次的侵入。

震旦纪以后的地质构造是盖层的发展，是该地区地壳演化的关键时段。多旋回的构造活动明显。寒武纪早期，原震旦纪海盆进入拉张、裂陷时期，出现较长时间的沉积，沉积了以碳酸盐类岩石为主的地层。志留纪末期，地壳向上隆起，形成了盖层的褶皱和

断裂[38]。期间岩浆活动较弱。早石炭世，发生了新的海侵，石炭纪末期，又发生了地壳大面积的抬升，破坏了隆起的基底，并有中酸性岩大量侵入，拗陷区盖层的褶皱和断裂进一步复杂化。第三纪末期以后，该地区地壳基本上处于隆起上升状态。

研究区内的基底和盖层总的构造线方向基本上是东西向的，但二者在接触带附近的构造线方向常不一致。沿盖层褶皱的两翼常有断裂，褶皱轴向与断裂方向基本一致为东西向。研究区内的地质构造详述如下：

### 2.3.1 褶皱

褶皱构造可分为两大类：一是吕梁运动、晋宁运动形成的基底褶皱；褶皱类型基本为线状紧闭倒转褶皱，轴面向南倾斜，常为许多次一级的小褶曲。并伴随一系列高角度断层；二是加里东旋回所形成的盖层褶皱。其中以前震旦系基底褶皱较为发育，它们以晋宁运动形成的褶皱为主，并受后期构造的改造叠加，使之具有较为复杂的形态特征，早期褶皱对后期褶皱有明显的控制作用。盖层褶皱不甚发育。按枢纽走向，大致可分为近东西向、北西向和近南北向的褶皱。

### 2.3.2 断裂

区内断裂较发育，以东西—北西西方向为主，其次为北东向、北北东向和北西向。其中以近东西向断裂带规模最大，尤其以尉犁—兴地深大断裂最为重要。

尉犁—兴地大断裂带位于研究区的中部，西起库尔勒经兴地向东延伸，长达五百余公里,总体呈近东西向（280°）展布，断裂带宽数百米至 1 km 不等。走向呈北东东向，是贯穿全区的深大断裂，在遥感图上反映得十分清楚。沿断裂带发育有中—晚元古代基性—超基性杂岩活动，至晚古生代又有花岗岩侵入。其中，断裂北侧未发现有中元古界地层的沉积，全部都沉积在断裂南侧，晚元古界地层在断裂中部沉积在断裂北侧，断裂东部两侧都有沉积，但北部沉积厚度大，南部沉积厚度小。从断裂的两盘各自发育的地层来看，在其地质发展的历程中时不完全一致的，尉犁—兴地大断裂起到了一定的作用[39]。因此，该断裂带对区内构造发展演化、地层发育、岩浆岩的侵入和矿产的分布都起着一定的控制作用，所以研究尉犁—兴地大断裂特征具有十分重要的意义。该断裂带的特征总结如下：

**影像特征**

尉犁—兴地大断裂在遥感图象上有清晰的舒缓波状、连续性好的线状影纹显示（图 2.3）。在陆地卫星象片中具体标志为：a 山前断层崖呈线状分布；b 两种不同地貌单元直线分界（也是不同影纹图案的分界）；c 在其穿越第四纪沉积物覆盖区时均为连续的色调异常线；d 再向东地段明显地截断了由震旦纪地层构成的褶皱构造等地质体。断裂南侧，斑纹状、条状结构景观在卫星遥感影像上能清楚反映出来。

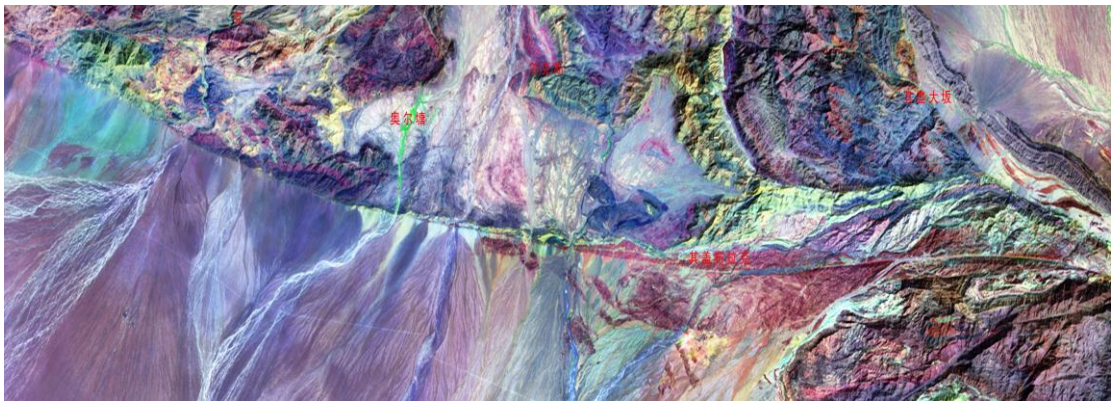


图 2.3　尉犁—兴地大断裂影像特征

**地球物理特征**

尉犁—兴地大断裂重、磁异常明显。重力异常表现为断裂带位于塔里木重力高和天山重力低的过渡梯度带上，有三个线状分布的重力异常。呈东西向分布，与尉犁—兴地大断裂构造线基本吻合。

尉犁—兴地大断裂带的航磁异常属于局部高磁异常区，在尉犁—兴地大断裂带上，磁异常明显地呈一个条带状分布，异常带走向 EW-NWW，单个磁异常的走向与异常带约有 10～20°的交角。磁异常强度不等，一般在 400γ，最小为 100γ左右，最高可达 1000γ，异常形态差别较大，长短不一，强弱不等。具有一定的分带性，有的仅单独存在，有的多个异常两成一线，高值异常区的特征很少的反映了沿尉犁—兴地大断裂带分布的磁性岩体的分布。

**地质特征**

在尉犁—兴地大断裂带两侧，明显呈现的地貌差异为该断裂宏观地貌特征。断裂带产状以南倾为主，倾角 70°左右，有的近直立。局部也可北倾，断裂带整体呈舒缓波状延伸。

综上所述，尉犁—兴地大断裂是库鲁克塔格地区的主干断裂之一，在其漫长的演化中，控制了本区的沉积作用，同时也相应地控制了与沉积作用有关的成矿作用；尉犁—兴地大断裂还控制了研究区的岩浆活动以及和岩浆活动过程中的成矿作用，使断裂南侧形成三个不同的基性—超基性岩体；断裂两侧火山活动程度各有不同，也是受到了该断裂的影响。因此，尉犁—兴地大断裂不仅控制了本区的沉积作用、岩浆活动、火山活动，也控制了本区的成矿作用。为本区主要的控岩、控矿构造[40]。

## 2.4 区域岩浆岩及分布

尽管库鲁克塔格地区多被第四系覆盖，研究区内的岩浆岩出露面积仍较大，其中侵入岩较发育，岩性从酸性到超基性均有出露（图 2.4）。中酸性侵入岩的侵入时代主要为元古宇。其中以元古宇中、晚期的花岗质岩石分布较广，花岗质岩在侵入岩区的出露面

积约占三分之一，往往呈大规模岩基和大小不等的岩株、岩脉产出。分别侵位于托格拉克布拉克群、兴地塔格群。该类型侵入岩的岩性主要有石英闪长岩、英云闪长岩和奥长花岗岩三类，岩石多具有弱片麻状。其中，古元古代末发育二长花岗岩及其它花岗质岩；中新元古代弱片麻状花岗闪长岩类。基性—超基性岩也有零星出露，并与区域的航磁异常吻合，迄今已发现基性—超基性杂岩体多处，岩体露头较少，多被第四系覆盖，岩体多为隐伏岩体，均受尉犁—兴地大断裂带控制。近年来，在该类岩体中不断发现低品位铁磷矿。

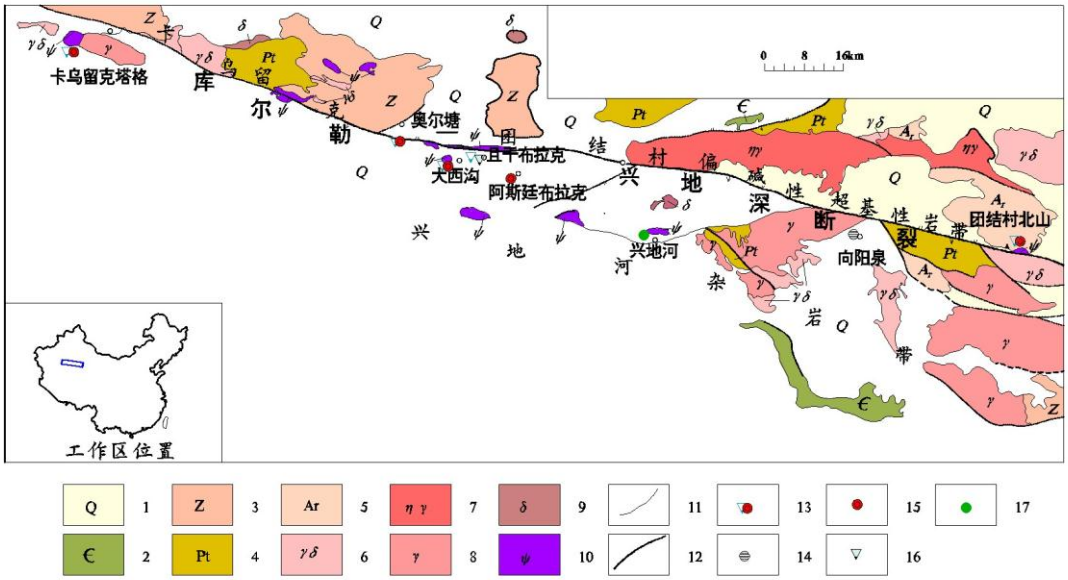



图 2.4　库鲁克塔格地区岩浆岩杂岩带及矿产图

1-第四系；2-寒武系；3-震旦系；4-元古界；5-太古宇；6-花岗闪长岩；7-二长花岗岩；8-花岗岩；9-闪长岩；10-基性-超基性岩；11-地质界线；12-断层； 13-铁磷矿；14-蛭石-磷灰石矿；15-铌矿；16-磁铁矿；17-铜矿

## 2.5 研究区内矿产概况

库鲁克塔格地区成矿条件良好，但由于该地区地处偏远，交通不便，地质勘查程度较低。国内多家地勘单位先后开展了基础地质及地质找矿工作，已发现矿产多处。矿种类型较多，贵金属主要由金矿和银矿；有色金属最多，主要有铜矿、钒矿、铅锌矿；稀有金属铌矿以及非金属蛭石、磷灰石矿也有发现。其中与超基性—基性杂岩体有关的矿床多处[41-43]。矿化类型有两种，其一为岩浆熔离型 Cu（Ni、Co）矿化。主要分布在中途站—兴地、团结村北、兴地南、铁矿湾等地；其二为岩浆岩型 Fe、P 矿化，主要分布在卡乌留克塔格、奥尔塘、且干布拉克、向阳泉等地。

## 2.6 区域航磁异常特征特征

库鲁克塔格地区存在明显的航磁异常（图 2.5），西南部与东北部存在一条明显的线性梯度带，表现为西南部为磁异常正值区（Ⅰ），东北部为磁异常负值区（Ⅱ）。对比区

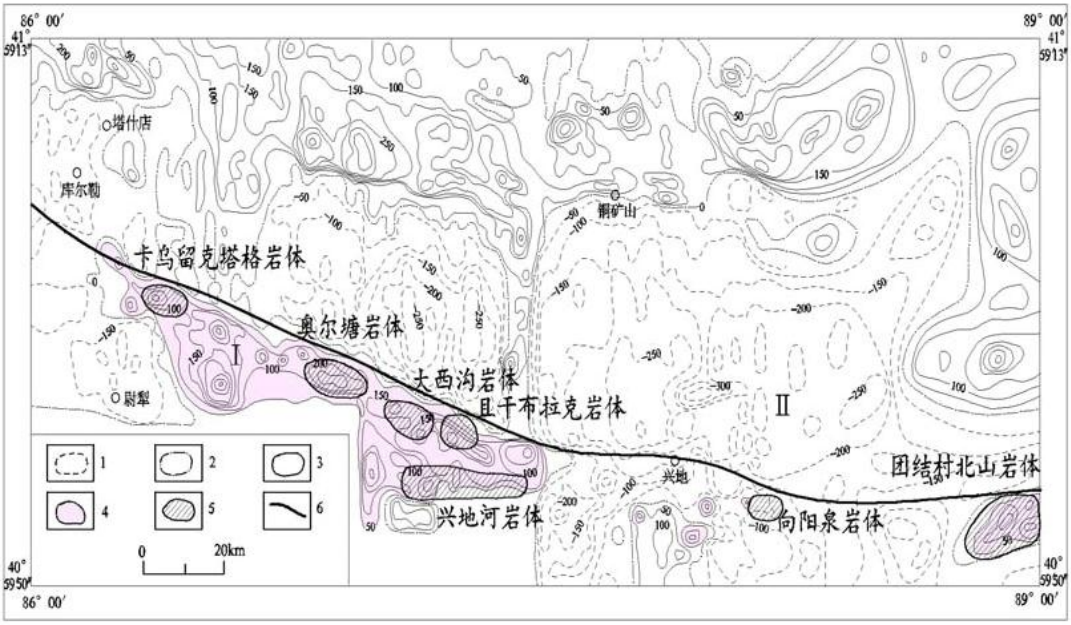



图 2.5　库尔勒—兴地地区航磁△T 化极等值线及杂岩体分布图
1-负等值线；2-零等值线；3-正等值线；4-磁异常；5-杂岩体范围；6-兴地断裂

域地质图我们可知，梯度带西南部为主要为中元古界地层，北部主要为新元古代地层。推测沿该线性梯度带分布一个界面，该界面切穿了磁性基底（仲崇字等，1978）。尉犁—兴地深大断裂与该线性梯度带位置吻合。其中正值区（Ⅰ）内有多处高值磁异常，△T 磁异常强度一般为 400 nT，最强 1000 nT 左右。在尉犁—兴地大断裂南侧较多，并多成带状分布，异常范围与区内杂岩体的分布较吻合。通过磁异常与已发现杂岩体的对比，

我们可以推断出，正值区中的高值磁异常是由基性—超基性杂岩体引起。负值区（Ⅱ）磁场背景值为负值，磁异常强度一般为-200～-150nT。

## 2.7 区域地球化学特征

### 1）各地层单元素地球化学特征

研究区内地层比较重要的 21 种元素平均含量见表 2.1。与地壳及区域的丰度比较，具有以下特点。

该区是一个 Ni、Co、Cu、Mo 等的高丰度区，对元素与全球克拉克值比较，其浓集系数均较高。因此该区出现铜多金属矿是有地球化学基础的。Sn、W、Bi、B、Cs、Pb、As、Sb 等元素丰度偏低，浓集系数较低。

元素丰度和组合与沉积环境、成矿有着密切的关系，元古宇地层中中高于克拉克值的元素以与基性—超基性岩岩体有关的金属元素组合为主，其中 Ni、Cu、Co、P 等为主要成矿元素，测区内大中型铜镍矿、铁磷矿等重要矿产大部分分布在此套地层内。

表 2.1 库鲁克塔格地区地层元素丰度统计表

| 地层 | Au | Ag | As | Sb | Hg | Cu | Pb | Zn | Cd | W | Sn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第三系 | 1.34 | 0.06 | 5.16 | 0.55 | 0.11 | 13.4 | 11.56 | 46.6 | 0.33 | 1.93 | 1.42 |
| 侏罗系 | 1.19 | 0.08 | 13.0 | 0.70 | 0.02 | 16.4 | 10.04 | 44.0 | 0.15 | 1.66 | 1.26 |
| 二叠系 | 0.89 | 0.07 | 7.54 | 0.51 | 0.03 | 18.6 | 11.7 | 48.9 | 0.11 | 0.77 | 1.24 |
| 石炭系 | 0.62 | 0.07 | 5.59 | 0.57 | 0.02 | 27.0 | 11.94 | 69.8 | 0.10 | 0.91 | 1.12 |
| 泥盆系 | 0.62 | 0.05 | 9.44 | 0.46 | 0.02 | 28.4 | 7.03 | 80.4 | 0.15 | 1.09 | 1.05 |
| 志留系 | 0.91 | 0.09 | 5.91 | 0.48 | 0.02 | 14.8 | 12.96 | 36.7 | 0.13 | 0.85 | 1.49 |
| 寒武系 | 2.72 | 0.91 | 15.4 | 1.38 | 0.03 | 36.9 | 10.94 | 67.3 | 0.09 | 0.15 | 1.03 |
| 震旦系 | 1.23 | 0.07 | 4.09 | 0.35 | 0.02 | 9.72 | 12.95 | 29.2 | 0.08 | 0.75 | 2.58 |
| 元古宇 | 0.90 | 1.09 | 7.49 | 0.28 | 0.01 | 15.7 | 15.53 | 51.1 | 0.58 | 1.28 | 2.72 |
| 地壳丰度 | 4.0 | 0.07 | 1.80 | 0.20 | 0.08 | 55 | 12.5 | 70 | 0.20 | 1.5 | 2.0 |
| 区域丰度 | 1.006 | 0.067 | 4.4 | 0.36 | 0.015 | 19.06 | 12.56 | 50.12 | 0.096 | 0.87 | 1.84 |

续表

| 地层 | Mo | Bi | Mn | Cr | Ni | Be | B | Co | V | Ti | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第三系 | 1.48 | 0.43 | 318 | 0.32 | 14.6 | 1.80 | 28.5 | 6.75 | 44.9 | 2816 | 0.23 |
| 侏罗系 | 1.16 | 0.16 | 496 | 0.51 | 8.90 | 1.30 | 18.2 | 5.50 | 52.1 | 2566 | 0.66 |
| 二叠系 | 1.68 | 0.14 | 547 | 0.80 | 19.9 | 1.43 | 19.2 | 9.95 | 63.8 | 2540 | 0.77 |
| 石炭系 | 2.11 | 0.13 | 840 | 0.78 | 19.0 | 1.53 | 15.5 | 11.5 | 89.1 | 3561 | 0.91 |
| 泥盆系 | 0.92 | 0.11 | 860 | 0.79 | 14.8 | 0.98 | 10.3 | 11.2 | 83.2 | 4064 | 1.09 |

| 地层 | Mo | Bi | Mn | Cr | Ni | Be | B | Co | V | Ti | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 志留系 | 2.83 | 0.36 | 545 | 0.68 | 28.5 | 1.48 | 19.2 | 7.77 | 41.1 | 1869 | 0.65 |
| 寒武系 | 8.77 | 0.15 | 321 | 0.32 | 13.2 | 1.56 | 11.5 | 5.08 | 119 | 1433 | 0.55 |
| 震旦系 | 2.51 | 0.20 | 279 | 0.64 | 9.34 | 1.32 | 9.3 | 5.21 | 20.2 | 1948 | 0.75 |
| 元古宇 | 1.79 | 0.45 | 500 | 2.04 | 4.09 | 3.13 | 22.0 | 9.41 | 68.0 | 308 | 1.38 |
| 地壳丰度 | 1.5 | 0.17 | 950 | 100 | 75 | 2.80 | 10 | 25 | 135 | 5700 | 1.1 |
| 区域丰度 | 1.87 | 0.22 | 662.4 | 47.66 | 20.24 | 1.61 | 15.58 | 10 | 69.10 | 2960 | 1.2 |

注：Au 含量以 $10^{-9}$ 计，其余元素含量以 $10^{-6}$ 计。 （据阎文元等，1991）

**2）综合化探异常**

库鲁克塔格地区地球化学测量成果显示，镁铁质岩体分布区域多表现出与基性—超基性岩有关的 Cu、Ni、Cr、Co、Zn、P 综合异常，异常规模大、强度高，异常分布范围与镁铁质一超镁质侵入岩出露范围大致一致[44-46]，并有几处有铁磷矿、铜镍矿化显示。如兴地塔格的综合化探异常，异常长 6km，宽 3km，面积近 20$km^2$，其中 Cu 平均含量 117×$10^{-6}$，异常峰值 620×$10^{-6}$；As 平均含量 2×$10^{-6}$，异常峰值 36×$10^{-6}$；Ni 平均含量 80×$10^{-6}$，异常峰值 3365×$10^{-6}$；Sn 平均含量 4.72×$10^{-6}$，异常峰值 250×$10^{-6}$。

# 第 3 章 研究区基性—超基性杂岩体地质及地球化学特征

## 3.1 基性—超基性杂岩体地质特征

研究区内基性—超基性杂岩侵入岩发育。岩体都被第四系覆盖，多为隐伏岩体。杂岩体的分布明显受尉犁—兴地深大断裂控制（图 3.1）。杂岩带西自尉犁县城，东至团结村北山，呈北西—南东向展布，长约 260 km[47-51]。杂岩带内主要有卡乌留克塔格杂岩体、奥尔塘隐伏杂岩体、大西沟杂岩体、且干布拉克杂岩体、向阳泉碱性杂岩体、团结村北山杂岩体等。其中，且干布拉克杂岩体的同位素年龄为 862.9Ma[52-53]，相当于青白口纪末，塔里木运动的产物。主要杂岩体特征见表 3.1。

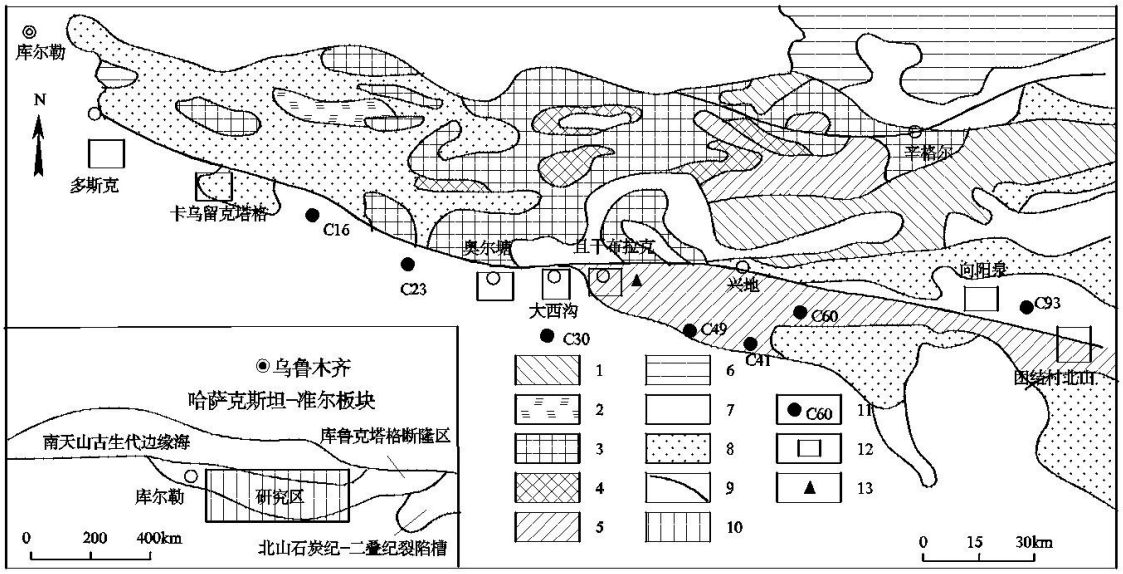



**图 3.1 库鲁克塔格基性-超基性杂岩带分布**

1-早中元古界；2-晚中元古界；3-早新元古界；4-晚新元古界；5-早古生界；6-晚古生界；7-新生界；8-侵入岩；9-大断裂；10-研究区；11-航磁异常及编号；12-磷矿区及含矿杂岩体；13-铁矿床

表 3.1 研究区内杂岩体分布及地质特征

| 名称 | 地理位置 | 基本特征 | 产状 | 岩石组合 |
|---|---|---|---|---|
| 卡乌留克塔格角闪石岩—辉石杂岩体 | 位于研究区的西北端，尉犁县 C12 号航磁异常。 | 地表仅星零出露，大部分被第四系覆盖，根据航磁结果推测为一隐伏岩体，椭圆状小岩株状产出，岩体长约 3km，宽约 1.5km，顶部埋藏深度 20～40m。岩体产状较陡，总体向南东方向延伸。 | 岩株 | 杂岩体主要由辉石岩与角闪石岩组成，局部地段出现黑云母辉石岩、磁铁矿辉石岩、含磷灰石角闪辉石岩等。 |
| 奥尔塘正长岩—辉石岩杂岩体 | 位于研究区的中部，尉犁县 C24 号磁异常 | 该岩体为一处隐伏岩体，通过地面磁测与钻探验证，杂岩体磁异常圈闭面积约 12km$^2$。成矿条件很好，具一定找矿前景。 | 岩株 | 杂岩体由辉石岩、辉长岩、含磷灰石辉长岩、含磷灰石黑云母辉石岩组成，含铁矿透辉石岩呈层状分布。 |
| 大西沟杂岩体 | 尉犁县大西沟 | 杂岩体呈隐伏—半隐伏状，地表出露几平方米至数百平方米。区内已发现多个小岩体群，大部分为北东走向，倾向南东，其产状多数与地层变质岩片理方向一致。通过地面磁测与钻孔验证，杂岩体长约 2.1km，宽约 900m。磁异常圈闭面积约 2.3km$^2$。 | 小岩株 | 杂岩体主要由斜长岩组成，其次为辉长岩，少量二辉橄榄岩和辉石岩。岩石普遍蚀变，主要为钠黝帘石化、绿泥石化。磷铁矿体主要赋存在角闪斜长岩中。 |
| 且干布拉克超基性—碳酸岩杂岩体 | 尉犁县<br>且干布拉克 | 迄今为止研究程度较高的岩体。杂岩体侵位于元古界片麻岩。岩体长 4km，平均宽 650m，面积约 3.0km$^2$。 | 岩墙 | 杂岩体主要有黑云母透辉石岩、蛇纹岩化纯橄岩、二辉橄榄岩、碳酸岩组成。 |

| 名称 | 地理位置 | 基本特征 | 产状 | 岩石组合 |
|---|---|---|---|---|
| 向阳泉碱性杂岩体 | 尉犁县阔克塔格 | 碱性正长岩体呈扁平小椭圆形岩株，长 9.5km，出露面积约 17.5km$^2$。碱性正长岩体侵入于元古界兴地塔格群大理岩和片岩中。 | 岩株 | 杂岩体主要由霓石钠长岩、霓石角闪正长岩和角闪正长岩组成。 |
| 兴地河基性—超基性杂岩体 | 尉犁县兴地河村 | 岩体侵入于古元古界变质岩中，由 4 个不同规模的岩体构成，呈近东西向展布。 | 岩群 | 杂岩体主要由辉长岩、辉石岩和橄榄岩类组成。 |
| 团结村北山辉石岩岩体 | 研究区的东南端团结村北山 C88 号航磁异常 | 杂岩体为一隐伏岩体，大部分被第四系戈壁覆盖，地表岩体出露较少，断断续续分布，长约 5.5km。据磁异常分析，岩体平面形态为一不规则的椭圆形，直立式向南陡倾的岩体。 | 岩墙 | 岩体主要为黑云母透辉石岩，辉石岩组成，岩石中普遍含磁铁矿、磷灰石。 |

收集整理资料来源于夏学惠，2011

## 3.2 基性—超基性杂岩体地球化学特征

库鲁克塔格地区侵入杂岩的岩石类型主要有橄榄岩、辉石岩、辉绿岩、角闪岩、斜长岩、正长岩。岩石蚀变普遍，但均较弱，其中橄榄石、辉石、斜长石部分已被蚀变为绿泥石、绿帘石。

库鲁克塔格地区杂岩体岩石主要化学成分（表 3.2）表明，岩石中 $SiO_2$ 含量变化范围较大，含量在 1.25～69.58%之间。其中，向阳泉霓石角闪正长岩 $SiO_2$ 较高，含量为 64.98～66.32%；奥尔塘岩体中正长岩 $SiO_2$ 含量最高，达 69.58%；且干布拉克的碳酸岩中 $SiO_2$ 较低，含量为 1.25%。区内含矿杂岩体的 $SiO_2$ 含量在 35.33～51.44%之间，杂岩体主要为超基性、基性—超基性。

通过岩性特征分析岩石的化学成分为：

橄榄岩中 $SiO_2$ 含量为 35.33～40.19%，$TiO_2$ 含量为 0.12～0.45%，$Al_2O_3$ 含量为 0.84～3.64%，MgO 含量为 26.81～38.04%，CaO 含量为 1.44～3.62%，$Na_2O$ 含量为 0.30～0.34%，$K_2O$ 含量为 0.53～0.54%，$P_2O_5$ 含量为 0.07～0.10%。

辉石岩中 $SiO_2$ 含量为 37.78～43.06%，$TiO_2$ 含量为 0.51～2.17%，$Al_2O_3$ 含量为 1.60～9.69%，MgO 含量为 7.08～114.53%，CaO 含量为 14.74～21.44%，$Na_2O$ 含量为 0.36～1.55%，$K_2O$ 含量为 0.29～2.69%，$P_2O_5$ 含量为 1.56～3.89%。

辉长岩、辉绿岩中 $SiO_2$ 含量为 49.7～51.44%，$TiO_2$ 含量为 2.64～2.77%，$Al_2O_3$ 含量为 12～13.43%，MgO 含量为 3.68～4.48%，CaO 含量为 7.24～8.04%，$Na_2O$ 含量为 2.62～3.38%，$K_2O$ 含量为 0.38～1.06%，$P_2O_5$ 含量为 0.32～1.68%。

角闪岩、斜长岩中 $SiO_2$ 含量为 37.44～40.68%，$TiO_2$ 含量为 2.17～4.04%，$Al_2O_3$ 含量为 4.64～12.91%，MgO 含量为 4.66～11.15%，CaO 含量为 8.23～14.36%，$Na_2O$ 含量为 0.62～0.74%，$K_2O$ 含量为 0.35～2.56%，$P_2O_5$ 含量为 0.1～2.06%。

正长岩中 $SiO_2$ 含量为 60.44～69.58%，$TiO_2$ 含量为 0.3～0.85%，$Al_2O_3$ 含量为 12.86～17.38%，MgO 含量为 0.33～1.16%，CaO 含量为 0.91～3.72%，$Na_2O$ 含量为 3.02～7.42%，$K_2O$ 含量为 4.58～4.92%，$P_2O_5$ 含量为 0.01～0.34%。

表 3.2 库鲁克塔格地区侵入杂岩体岩石化学成分（%）

| 序号 | 岩体 | 岩性 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | los |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 卡乌留克 | 辉石岩 | 38.53 | 2.17 | 9.69 | 12.38 | 9.60 | 0.26 | 7.08 | 14.74 | 1.55 | 0.71 | 2.00 | 0.62 |
| | | 角闪岩 | 37.44 | 2.17 | 4.64 | 17.29 | 9.42 | 0.16 | 11.15 | 14.36 | 0.62 | 0.35 | 0.1 | 1.14 |
| 2 | 且干布拉克 | 蛇纹石化橄榄岩 | 35.33 | 0.12 | 0.836 | 7.658 | 1.74 | 0.132 | 38.04 | 1.44 | 0.34 | 0.54 | 0.10 | 13.88 |
| | | 黑云母透辉石岩 | 41.71 | 0.76 | 4.89 | 3.72 | 3.39 | 0.16 | 114.53 | 19.22 | 0.37 | 2.69 | 3.89 | 4.17 |
| | | 磁铁透辉岩 | 36.60 | 1.8 | 2.94 | 11 | 7.2 | 0.16 | 9.04 | 19.51 | 0.84 | 0.62 | | 10.29 |
| | | 碳酸岩 | 1.25 | 0.73 | 0.17 | 2.32 | 1.79 | 0.09 | 2.8 | 48.56 | 0.08 | 0.32 | 3.37 | 38.9 |
| 3 | 奥尔塘 | 正长岩 | 69.58 | 0.63 | 12.86 | 2.68 | 2.50 | 0.092 | 0.64 | 1.88 | 3.02 | 4.58 | 0.22 | 1.19 |
| | | 辉绿岩 | 49.70 | 2.77 | 12.00 | 4.78 | 11.88 | 0.22 | 4.48 | 8.04 | 2.62 | 0.38 | 0.32 | 4.70 |
| | | 磁铁矿化辉长岩 | 51.44 | 2.64 | 13.43 | 5.04 | 9.48 | 0.20 | 3.68 | 7.24 | 3.38 | 1.06 | 1.68 | 0.70 |
| 4 | 大西沟 | 斜长岩 | 40.68 | 4.04 | 12.91 | 15.95 | 5.46 | 0.18 | 4.66 | 8.23 | 0.74 | 2.56 | 2.06 | 2.55 |
| | | 二辉橄榄岩 | 40.19 | 0.45 | 3.64 | 10.09 | 7.06 | 16.04 | 26.81 | 3.62 | 0.3 | 0.53 | 0.07 | 0.83 |
| | | 辉石岩 | 44.23 | 0.92 | 8.47 | 2.9 | 6.16 | 8.76 | 16.85 | 13.85 | 0.5 | 1.04 | 2.24 | 1.54 |
| 5 | 向阳泉 | 霓石钠长岩 | 60.44 | 0.85 | 17.38 | 2.95 | 1.48 | 0.15 | 1.16 | 3.72 | 6.65 | 4.59 | 0.27 | 0.88 |
| | | 角闪正长岩 | 64.48 | 0.30 | 17.09 | 1.62 | 1.84 | 0.13 | 0.78 | 0.93 | 7.42 | 4.92 | 0.34 | 0.80 |
| | | 霓石角闪正长岩 | 66.32 | 0.32 | 15.69 | 2.38 | 1.38 | 0.08 | 0.33 | 0.91 | 6.69 | 4.60 | 0.01 | 0.64 |
| 6 | 团结村北山 | 辉石岩 | 37.78 | 1.39 | 5.32 | 9.25 | 8.14 | 0.19 | 10.24 | 17.07 | 1.08 | 0.7 | 1.7 | 0.21 |
| | | 透辉石岩 | 43.06 | 0.51 | 1.6 | 8.32 | 5.43 | 0.09 | 13.59 | 21.44 | 0.36 | 0.29 | 1.56 | 0.04 |
| 7 | 河北矾山 | 辉石岩 | 35 | 2.51 | 4.78 | 13.7 | 9.56 | 0.23 | 8.72 | 19.37 | 1.06 | 0.67 | 3.05 | 1.78 |
| | | 黑云母辉石岩 | 35.53 | 1.75 | 5.88 | 6.86 | 6.94 | 0.15 | 11.03 | 20.34 | 2.31 | 0.58 | 5.05 | 1.37 |
| | | 正长黑云母辉石岩 | 37.99 | 2.67 | 9.15 | 4.9 | 6.68 | 0.2 | 12.01 | 15.07 | 4.67 | 0.57 | 4.15 | 2.33 |
| | | 正长辉石岩 | 43.52 | 1.61 | 11.93 | 5.34 | 5.65 | 0.16 | 6.81 | 13.92 | 6.03 | 0.86 | 1.75 | 2.41 |
| | | 钛榴石辉石正长岩 | 37.85 | 5.42 | 10.38 | 8.98 | 6.71 | 0.25 | 3.14 | 17.05 | 6.71 | 1.01 | 0.4 | 2.22 |
| | | 正长岩 | 51.82 | 1.16 | 16.26 | 3.73 | 4 | 0.15 | 3.89 | 5.68 | 7.42 | 2.89 | 0.58 | 2.48 |

注：卡乌留克、向阳泉岩石化学成分据夏学惠，2009；大西沟岩石化学成分据袁家忠，2010；且干布拉克岩石化学成分据殷宝详等，1988；矾山岩石化学成分引自“矾山铁磷矿床”北京大学地质系等，1980；团结村北山数据为中化地质矿山总局中心实验室原子吸收分光度计法完成，分析精度 5%。

# 第 4 章 已发现的铁磷矿矿床地质及地球化学特征

我国北方磷矿多为岩浆岩型，规模较小，多为中小型矿床，矿石矿物主要为磁铁矿和磷灰石。根据化工矿产地勘行业内部规范及现今经济开发意义来看，同时能满足$P_2O_5$>2%，TFe>12%的矿床，尽管岩矿石中的$P_2O_5$含量较低，但磷灰石和磁铁矿可综合利用，进行开采，我们将这类矿床称为岩浆岩型铁磷矿矿床。

卡乌留克塔格—团结村北山的基性、超基性杂岩岩带内已发现多处岩浆岩型铁磷矿（化）点，先后进行了预查、普查工作，也对其中几处含矿岩体进行了地球化学特征研究。笔者选择几处具有代表性的矿床作为典型矿床，对矿床的地质特征及地球化学特征进行详细的研究，探索该地区岩浆岩型铁磷矿的成矿物质来源，总结成矿规律。现从北西向南东方向依次阐述如下：

## 4.1 卡乌留克塔格铁磷矿矿床

矿床位于研究区的西北部，新疆巴音郭楞盟蒙古自治州尉犁县县城东偏北，距离尉犁县县城约 40 公里，中心地理坐标为：东经 86°33′59″，北纬 41°26′53″。交通不便。

### 4.1.1 矿区地质

矿区内地层简单，构造不发育，侵入岩发育。

#### 4.1.1.1 地层

矿区大部分覆盖第四系，未见其它地层出现。

第四系:分布较广泛。堆积物呈淡黄色，松散堆积，主要为冲洪积砂砾，砾石占 60%，厚度变化较大。砾石磨圆较差，呈次棱角状，分选性较好。砾石成分复杂，主要有混合片麻岩、大理岩、千枚岩、粉砂岩、花岗岩、辉绿岩、角闪斜长岩等。充填有细砂粒、亚砂土，另有少量薄层砂质粘土。

#### 4.1.1.2 构造

矿区东南部有岩体出露，西部为大面积第四系覆盖。地表无明显的构造特征显示。通过航磁及地面磁法测量分析，推测于矿区的北部分布北西—南东向断裂两条，两条断裂平行分布（图 4.1）。推测断层走向北西，倾向南西，倾角约 60°左右。

含矿岩体位于兴地大断裂的南侧，次级断裂很明显控制了该含矿杂岩体分布。

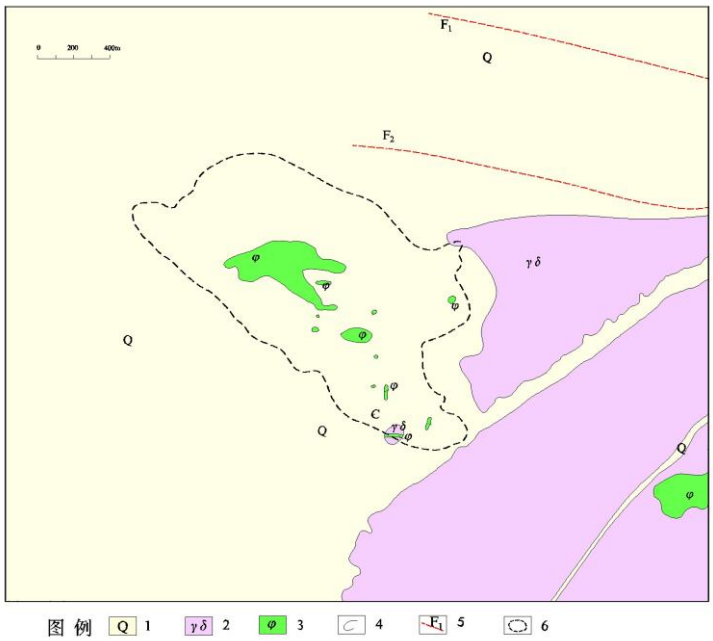



图 4.1 卡乌留克铁磷矿矿区地质略图

1-第四系；2-花岗闪长岩；3-辉石岩；4-地质界线；5-物探推测断层及编号；6-磁异常；

#### 4.1.1.3 岩浆岩

矿区内岩浆岩主要有花岗闪长岩与基性—超基性杂岩。主要特征如下：

花岗闪长岩，主要分布在矿区的东南部，零星出露在矿区的中部。岩体呈岩株状，地表出露面积较大，约 3km$^2$。岩石呈灰白—浅灰色，它形粒状结构，块状构造。岩石的主要矿物成分为斜长石（45～55%）、角闪石（15～20%），次要矿物为石英、黑云母、正长石等。

基性—超基性杂岩体，主要分布在矿区的中部，矿区的东南端零星出露。杂岩体呈小岩株状，第四系覆盖严重。通过对比磁异常的范围可知，该岩体为隐伏—半隐伏杂岩体，推测杂岩体呈北西—南东向分布，长约 2km，宽约 1km。岩性主要为角闪辉石岩、辉石岩、角闪辉长岩、辉长岩、角闪石岩、闪长岩与正长岩等。各个岩性分布无明显的规律性（图 4.2）。

含矿岩性为辉石岩、角闪辉石岩。第四系覆盖严重，露头不发育，现已发现有七处露头。出露最大者长约 700m，宽度变化较大，100m 左右。辉石岩与角闪辉石岩呈渐变关系，二者无明显界线。其中辉石岩呈深灰—灰黑色，半自形粒状结构，致密块状构造。岩石中主要矿物成分为辉石（50%）、透辉石（15～35%），次要矿物为角闪石、黑云母、绿泥石等。矿石矿物为磁铁矿、磷灰石（照片 02、照片 03）。角闪石含量变化较大，当含量超过 5%时，岩性变为角闪辉石岩。岩体中磁铁矿、磷灰石局部富集，形成矿化体。

辉长岩、角闪辉长岩类：岩石呈灰—深灰色，中粗粒晶结构，块状构造。岩石主要斜长石（40～50%）、普通辉石（30%～40%）、角闪石（10%）组成，含少量黑云母。岩体

中磁铁矿、磷灰石含量较少，未形成矿化体。

角闪石岩类：岩石呈灰黑色，细粒粒状结构，块状构造。岩石主要由角闪石组成，角闪石含量大于 80%。次要矿物为斜长石、辉石，少量磁铁矿、磷灰石。

闪长岩类：岩石呈灰白—浅灰色，花岗结构，块状构造。岩石主要矿物成分为斜长石（45～55%）、角闪石（15～20%）。次要矿物为石英、黑云母、正长石等。明显穿插基性—超基性岩。

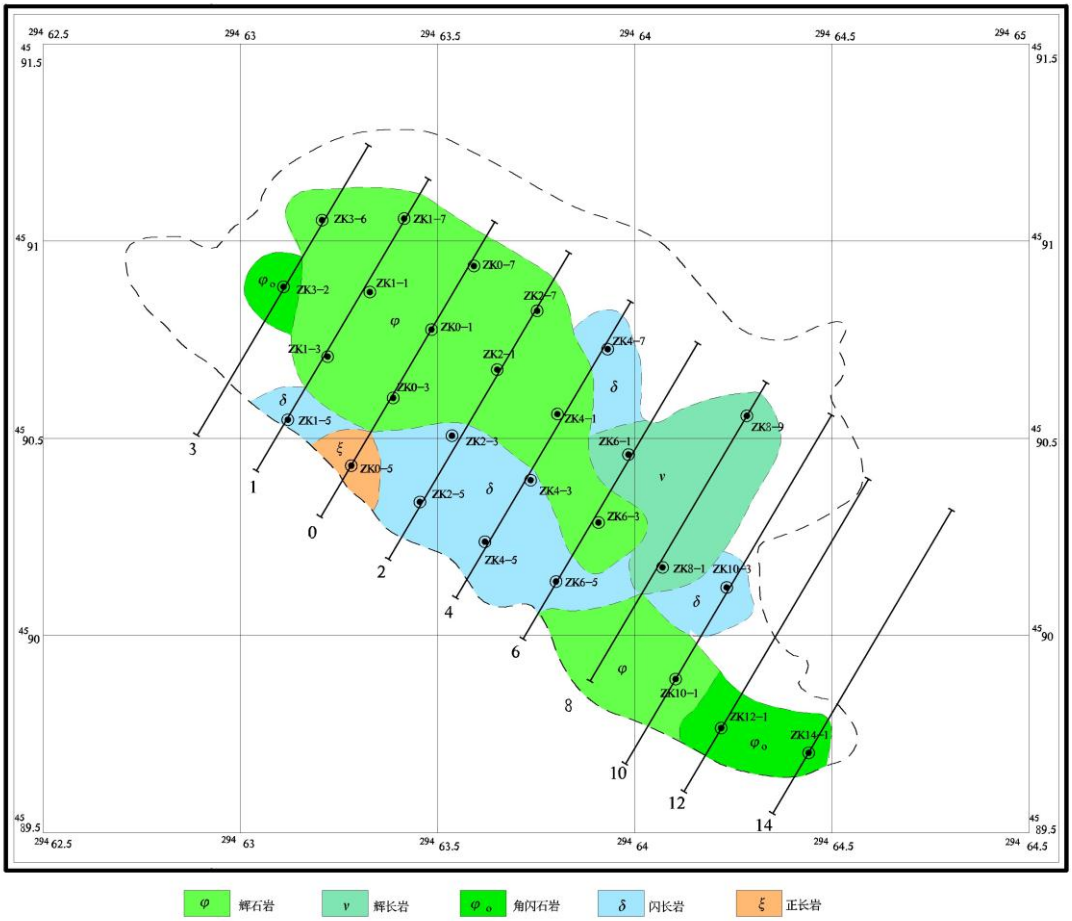



图 4.2 含矿杂岩体基岩地质略图（依据钻孔资料初步划分）

### 4.1.2 地面磁异常特征

通过地面 1:1 万高精度地面磁法测量。发现磁异常区 C-12 异常，该磁异常平面上呈长轴状椭圆形，北西—南东走向(约 300°)，长约 2.5km，宽约 1.5km。异常等值线南稀北密。通过分析地质填图和钻孔资料，等值线的密集程度与杂岩体埋深有一定的联系。随着杂岩体埋藏深度增加，磁异常等值线由密变疏。

根据高异常值显示及数据处理结果综合分析认为:C-12 异常为含铁磷矿基性－超基性岩类引起，总体形态为椭园形，走向北西(约 300°)，磁性体倾向南西(210°)。

### 4.1.3 矿体地质

铁磷矿体主要赋存辉石岩、角闪辉石岩中。自上而下可划分出矿体 11 个，大多数矿体呈似层状、透镜状，产状颇缓，近水平（图 4.3）。矿区大部（3 线～8 线间）以铁磷矿为主，含矿岩石类型以辉石岩为主。Ⅰ～Ⅵ号矿体分部在自地表（标高 1002m）至深部（标高 630m）间，各矿体之间的夹层主要为 TFe 含量达不到工业品位的辉石岩或角闪辉石岩。

矿区东部 10 线～14 线间的含矿杂岩体中磷灰石含量偏低，磁铁矿含量较高。划分为磁铁矿矿体，主要含矿岩石类型为角闪石岩和角闪辉石岩。其中Ⅸ号矿体分部在矿区东部（10 线～14 线）间。矿体厚度变化在 21.30～85.58 m。TFe 品位变化在 14.48%～25.90%。

不同矿体之间主要由辉长岩、辉绿岩、闪长岩、或 TFe 含量达不到工业品位的辉石岩分开，矿体总厚度达 242.99m。矿体厚度变化较大，地表及浅部矿体较薄，深部矿体较薄；矿体中间较厚，两端变薄。矿体沿走向变化较大，沿倾向变化不大。大部分为隐伏矿体。各矿体特征见表 4.1。

现将主要矿体特征分述如下：

$Ⅰ_1$号铁磷矿体：分布于 1～6 线之间，地表有探槽，深部有 ZK1-3、ZK0-3、 ZK6-1、ZK2-7、ZK2-1、ZK2-3、ZK4-1、ZK6-3 等 8 个钻孔控制。矿体位于孔深 0.00～32.00m 处,赋矿标高 970～1000m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 1000m，宽 600m，平均厚度 9.69m。$P_2O_5$ 平均品位 2.25%；TFe 平均品位 14.77%。矿体在北部较厚，往南矿体变薄。矿体单工程厚度 4.10～30.98m；品位 TFe 14.12%～17.34% ，$P_2O_5$ 1.43%～2.66%。度厚度变化系数为 63.69%。TFe 品位变化系数 9.79% ，矿体品位变化较均匀。

$Ⅱ_1$号铁磷矿体：分布于 1～2 线之间，赋存在Ⅰ号矿体下部，有 ZK1-3、ZK1-1、ZK1-7、ZK0-7、ZK2-7 等 5 个钻孔控制。矿体位于孔深 22.00～51.00m 处,赋矿标高 940～980m。矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 600m，宽 600m，平均厚度 14.10m。$P_2O_5$ 平均品位 2.14%；TFe 平均品位 14.38%。矿体在东部较厚，品位也较高，往西矿体变薄。矿体单工程厚度 7.60～20.95m ；TFe14.27～14.41% ，$P_2O_5$2.06～2.36%。矿体厚度变化系数为 97.07% 。TFe 品位变化系数 0.59%，矿体品位变化较均匀。

$Ⅱ_2$号铁磷矿体：分布于 1～4 线之间，赋存在Ⅰ号矿体下部，有 ZK1-3、ZK1-1、ZK1-7、ZK0-1、ZK2-7、ZK2-1、ZK4-1 等 7 个钻孔控制。矿体位于孔深 22.00～51.00m 处,赋矿标高 940～980m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 800m，宽 600m，平均厚度 4.01m。$P_2O_5$ 平均品位 2.64%；TFe 平均品位 15.63%。矿体在东部较厚，品位也较高，往西矿体变薄。矿体单工程厚度 1.20～9.10m；TFe 14.24%～19.21%，$P_2O_5$ 1.82%～2.95%。矿体厚度变化系数为 49.07%。TFe 品位变化系数 13.38%，矿体品位变化

较大。

$III_1$号铁磷矿体：分布于 1 ～6 线之间，赋存在Ⅱ号矿体下部，有 ZK1-3、 ZK1-1、ZK1-7、ZK0-7、ZK2-7、ZK4-7、ZK4-1、ZK6-1、ZK0-1、ZK0-3 等 10 个钻孔控制。矿体位于孔深 75.00～260.00m 处,赋矿标高 770～923m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 1000m，宽 600 m，平均厚度 43.42m。$P_2O_5$ 平均品位 2.40%；TFe 平均品位 14.68%。矿体单工程厚度 3.46～143.77m ；TFe 14.41%-16.42% ，$P_2O_5$ 2.10%～5.47%。矿体厚度变化系数为 48.60% 。TFe 品位变化系数 1.28%，矿体品位变化较均匀。

$III_3$号铁矿体：分布于 1～6 线之间，赋存在Ⅱ号矿体下部，有 ZK1-3、 ZK1-1、ZK1-7、ZK0-7、ZK2-7、ZK4-7、ZK4-1、ZK4-3、ZK6-1、ZK0-1、ZK2-1、ZK2-3、ZK2-5、ZK0-3 等 14 个钻孔控制。矿体位于孔深 75.00～260.00m 处,赋矿标高 770～923m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 1000m，宽 800 m，平均厚度 20.68m。$P_2O_5$ 平均品位 1.90%；TFe 平均品位 14.78%。矿体在沿走向变化较大，西部较厚，品位也较高，往东矿体变薄。矿体单工程厚度 2.21～68.75m；TFe14.00%～17.71%；$P_2O_5$1.26%～4.18%。矿体厚度变化系数为 129.14%。品位变化系数 TFe 5.44%。

$IV_1$号铁磷矿体：分布于 1～6 线之间，赋存在III号矿体下部，有 ZK1-3、ZK1-1、ZK0-1、ZK0-3、ZK2-7、ZK2-1、ZK2-3、ZK4-7、ZK4-1、ZK6-1 等 10 个钻孔控制。位于孔深 272.00～312.00m 处,赋矿标高 770～923m。矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 1000m，宽 600 m，平均厚度 11.64m。$P_2O_5$平均品位 2.42%；TFe 平均品位 14.32%。矿体单工程厚度 1.50～33.20m ；TFe 14.00%～15.48%；$P_2O_5$ 1.75%～4.93%。矿体厚度变化系数为 97.56%。TFe 品位变化系数为 4.16%。

$V_1$号铁矿体：分布于 1～2 线之间，赋存在III号矿体下部，有 ZK1-3、 ZK1-1、ZK0-3 等 3 个钻孔控制。位于孔深 272.00～312.00m 处,赋矿标高 686～728m，矿体呈似层状产出，产状较缓，走向北西。矿体长 400m，宽 400 m，平均厚度 6.95m。$P_2O_5$平均 品位 1.97%；TFe 平均品 14.66%。矿体单工程厚度 3.00～10.89m；TFe 14.24%～15.37% ；$P_2O_5$ 1.75%～2.79%。矿体厚度变化系数为 80.33%。TFe 品位变化系数为 0.40%。

$V_5$号铁磷矿体：分布于 1～2 线之间，赋存在III号矿体下部，有 ZK1-3、ZK1-1、ZK0-7 、ZK0-3、ZK0-1、ZK1-7 等 6 个钻孔控制。位于孔深 272.00～312.00m 处，赋矿标高 686～728m，矿体呈似层状，产状较缓，无明显的倾角，走向北西。矿体长 600m，宽 400m，平均厚度 7.52m。$P_2O_5$平均品位 2.33%；TFe 平均品位 15.03%。矿体单工程厚度 2.00～14.00m；TFe14.00%～15.67%；$P_2O_5$ 2.09%～3.71%。矿体厚度变化系数为 45.56%。TFe 品位变化系数 0.15%。

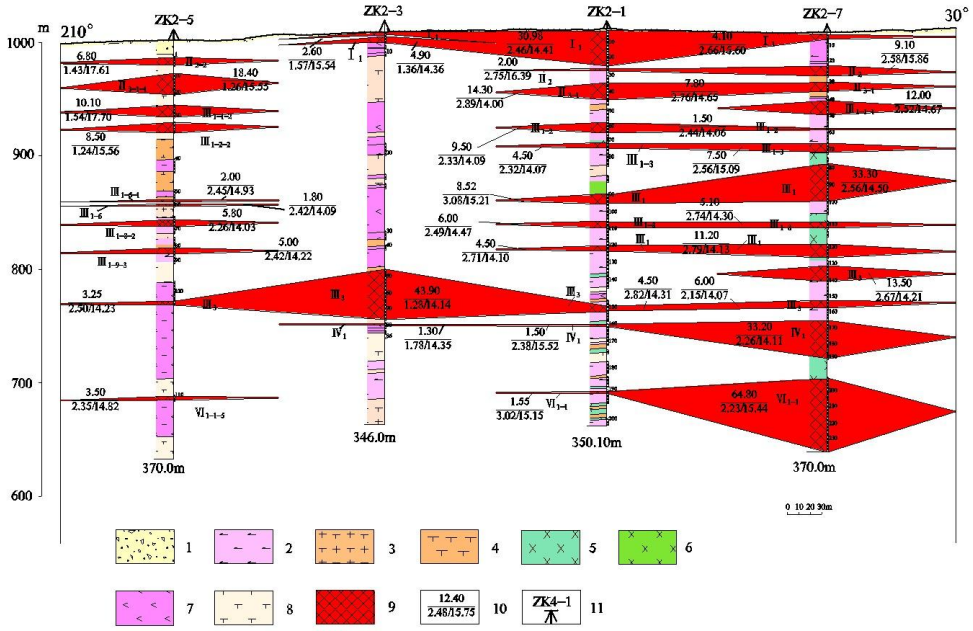



图 4.3 卡乌留克塔格铁磷矿区 2 勘探线剖面图

1-第四系；2-辉石岩；3-花岗闪长岩；4-正长岩；5-辉长岩；6-辉绿岩；

7-角闪石岩；8-闪长岩；9-铁磷矿体；10-矿体厚度/品位:$P_2O_5$/TFe（%）；11-钻孔及编号；

$Ⅵ_{1-1}$号铁磷矿体：分布于 0～4 线之间，赋存在Ⅴ号矿体下部，有 ZK0-7、ZK0-3、ZK0-1、ZK4-7、ZK2-7、ZK2-1 等 6 个钻孔控制。位于孔深 316.00～370.00m 处,赋矿标高 620～680m。矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 800m，宽 600 m，平均厚度 19.28m。$P_2O_5$平均 品位 2.65%；TFe 平均品位 14.96%。矿体单工程厚度 2.55～64.80m ；TFe 14.18%～15.44% ；$P_2O_5$2.23%～7.21%厚度变化系数为 22.91%。TFe 品位变化系数为 2.50%。

$Ⅸ_1$号铁矿体：分部在 10～14 号勘探线间，位于矿区东南部。该矿体以铁矿为主，磷含量较低。矿体位于孔深 3.23～102.45m 处，有 ZK10-1、ZK12-1、ZK14-1 钻孔控制，矿体长约 500m，宽 200m，平均厚度 43.29m。矿体呈似层状，近水平分布。$P_2O_5$ 平均品位 0.35%;TFe 平均品位 15.25%。矿体沿走向变化较大。矿体单工程厚度 21.30～85.58m;TFe14.47%～19.18%；$P_2O_5$ 0.13%～1.41%。厚度变化系数为 84.61%。TFe 品位变化系数为 16.93%，TFe 平均品位在 10 线附近为 14.48%，到 14 线变为 19.18%。

另外，在 ZK4-7 孔 316.50～330.50m 及 341.87～348.73m 见两层磷矿体，矿体长约 200m，宽 200m，厚度 14m 与 6.86m。矿体呈似层状，$P_2O_5$最高 9.26%，平均品位达 5.24%，TFe 品位 12%～16.16%。

表 4.1 矿体主要特征表

| 矿体编号 | 长、宽（m） | 平均厚度（m） | 平均品位（%） | | 产状 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | TFe | $P_2O_5$ | 倾向 | 倾角 |
| $I_1$ | 长 1000，宽 600 | 平均 9.69 | 14.77 | 2.25 | 近水平 | |
| $II_1$ | 长 600，宽 600 | 平均 14.10 | 14.38 | 2.14 | 近水平 | |
| $II_2$ | 长 800，宽 600 | 平均 4.01 | 15.63 | 2.64 | 近水平 | |
| $II_{3-1}$ | 长 600，宽 400 | 平均 8.61 | 14.41 | 2.60 | 近水平 | |
| $III_1$ | 长 1000，宽 600 | 平均 43.42 | 14.68 | 2.40 | 近水平 | |
| $III_{1-1}$ | 长 600，宽 400 | 平均 8.78 | 14.63 | 2.33 | 近水平 | |
| $III_{1-2}$ | 长 600，宽 400 | 平均 7.86 | 14.42 | 1.95 | 近水平 | |
| $III_{1-3}$ | 长 600，宽 400 | 平均 4.41 | 14.75 | 2.43 | 近水平 | |
| $III_{1-4}$ | 长 400，宽 400 | 平均 2.22 | 14.85 | 2.46 | 近水平 | |
| $III_{1-8}$ | 长 1000，宽 600 | 平均 5.69 | 15.53 | 2.45 | 近水平 | |
| $III_3$ | 长 1000，宽 800 | 平均 20.68 | 14.78 | 1.90 | 近水平 | |
| $IV_1$ | 长 900，宽 500 | 平均 11.64 | 14.32 | 2.42 | 近水平 | |
| $IV_{2-2}$ | 长 800，宽 400 | 平均 2.70 | 14.31 | 2.29 | 近水平 | |
| V1 | 长 400，宽 400 | 平均 6.95 | 14.66 | 1.97 | 近水平 | |
| $V_2$ | 长 400，宽 400 | 平均 3.14 | 14.72 | 2.29 | 近水平 | |
| $V_3$ | 长 400，宽 400 | 平均 3.47 | 14.35 | 3.03 | 近水平 | |
| $V_4$ | 长 600，宽 400 | 平均 2.64 | 14.94 | 3.23 | 近水平 | |
| $V_5$ | 长 600，宽 400 | 平均 7.52 | 15.03 | 2.33 | 近水平 | |
| $VI_{1-1}$ | 长 800，宽 600 | 平均 19.28 | 14.96 | 2.65 | 近水平 | |
| $VI_2$ | 长 400，宽 400 | 平均 3.43 | 14.53 | 2.55 | 近水平 | |
| $IX_1$ | 长 500，宽 200 | 平均 43.29 | 15.25 | 0.35 | 近水平 | |
| $IX_2$ | 长 500，宽 200 | 平均 9.50 | 14.84 | 0.89 | 近水平 | |
| $X_{6-1}$，$X_{6-2}$ | 长 400，宽 200 | 平均 8.10 | 14.38 | 1.39 | 近水平 | |
| $X_9$ | 长 400，宽 200 | 平均 2.90 | 14.32 | 1.76 | 近水平 | |
| $XI_1$ | 长 100，宽 100 | 11.05 | 14.74 | 0.64 | 近水平 | |
| $XI_2$ | 长 100，宽 100 | 11.41 | 14.65 | 0.50 | 近水平 | |

### 4.1.4 矿石特征

#### 4.1.4.1 矿石特征

按照矿石的构造和组成矿石的矿物成分可分为浸染状磷灰石磁铁矿、块状磷灰石磁

铁矿、斑杂状磷灰石磁铁矿。

**矿石矿物特征（照片 04，照片 05）**

矿石矿物的分析主要是应用放大镜和显微镜。矿石矿物主要有磷灰石、磁铁矿。脉石矿物主要有辉石（透辉石、斜方辉石）、角闪石。少量斜长石黑云母、绿泥石，微量赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿、绿帘石等。

磷灰石：呈半自形柱状或粒状集合体，在角闪石岩中磷灰石粒径为 0.06～0.2 ㎜，呈星散分布或包裹于角闪石中。在辉石岩中磷灰石粒径为 0.2～0.6 ㎜，均为星散状分布。

磁铁矿：呈等轴粒状，在角闪石岩中磁铁矿嵌布粒度为 0.03～0.1 ㎜，个别粗粒 0.2～0.3 ㎜，在辉石岩中嵌布粒度为 0.2～0.3 ㎜，个别粗粒可达 0.6～1 ㎜，呈细粒浸染状或斑杂状嵌布。

### 4.1.4.2 矿石的结构构造

矿石结构主要为粒状结构。

矿石构造主要为浸染状构造：磁铁矿，黑色，粒状，多呈半自形或他形，磷灰石呈细粒浸染状嵌布；块状构造：矿石中的磁铁矿、磷灰石组成矿物颗粒大小分布均匀，无定向排列，构成块状构造；斑杂状构造：磁铁矿集合体颗粒大小不等，呈不均匀分布，构成斑杂状构造。

### 4.1.4.3 矿石化学组成特征

矿石中矿石矿物主要为磁铁矿、磷灰石，为独立矿物出现，其中有用化学成分为 TFe、$P_2O_5$，分析测试结果如下（详见表 4.2）：

表 4.2 主要有益，有害组份含量表 （%）

| 样品编号 | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | CaO | MgO | TFe | $Fe_2O_3$ | $P_2O_5$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H01 | 31.25 | 6.88 | 11.76 | 8.36 | 25.18 | 20.15 | 1.55 |
| H02 | 33.98 | 8.80 | 11.92 | 8.41 | 21.89 | 16.65 | 1.89 |
| H03 | 36.89 | 8.04 | 14.70 | 9.34 | 16.02 | 11.25 | 2.29 |
| H04 | 37.22 | 5.62 | 16.49 | 9.43 | 17.55 | 14.05 | 2.35 |

| 样品编号 | $TiO_2$ | S | Cu | Co | Ni | V | As |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H01 | 2.79 | 0.90 | 0.02 | 0.012 | 0.005 | 0.09 | 6.9 |
| H02 | 2.48 | 0.66 | 0.01 | 0.007 | 0.003 | 0.08 | 0.4 |
| H03 | 1.45 | 0.64 | 0.02 | 0.009 | 0.003 | 0.06 | 0.4 |
| H04 | 1.31 | 0.07 | 0.00 | 0.008 | 0.006 | 0.06 | 7.8 |

测试单位：新疆地质矿产局第三地质大队实验室

TFe 含量为 16.02%～25.18%，平均含量为 34.84%。$P_2O_5$ 含量 1.55%～2.35%，平均含量为 2.02%。矿石中其他主量元素化学成分含量为：$SiO_2$ 含量为 31.25%～37.22%，平均含量为 34.84%，$Al_2O_3$ 含量为 5.62%～8.80%，平均含量为 7.34%，CaO 含量为 11.76%～16.49%，平均含量 13.72%，MgO 含量为 8.36%～8.41%，平均含量为 8.89%，$Fe_2O_3$ 含量

为 11.25%～20.15%,平均含量为 15.53%,$TiO_2$ 含量为 1.31%～2.79%,平均含量为 1.65%,

铁磷矿石中有害组份主要为 As、Cu、S，含量均偏较低，不影响铁磷矿矿石的加工和利用。

### 4.1.5 矿体围岩

矿体的围岩主要为辉石岩、角闪辉石岩。矿体与围岩的界线不明显，多数为渐变过渡关系。矿体内夹石多为 TFe 含量达不到工业品位的辉石岩。岩石一般比较完整，局部较破碎。

### 4.1.6 矿床地球化学特征

#### 4.1.6.1 主量元素特征

研究工作对卡乌留克塔格岩体的各个岩相取了样品进行全岩分析，根据岩石化学成分（表 4.3）数据可分析表明：

岩体岩石中 $SiO_2$ 含量为 35.88～41.88%，$Al_2O_3$ 含量为 4.64%～12.61%，MgO 含量为 3.63%～11.15%,$K_2O$ 含量为 0.35%～0.89%,$Na_2O$ 含量为 0.61%～2.47%,$P_2O_5$ 含量为 0.1%～2.74%。

岩体岩石中 $SiO_2$ 含量较低，变化范围为 35.88～41.88%，均小于 45%，是明显的硅酸不饱和岩。显而易见，该杂岩体为一超基性侵入岩体。其中含矿岩石中 $SiO_2$ 含量变化范围为 35.88%～37.44%。各类岩石中的 CaO 含量普遍较高，变化范围为 17.07%～21.44%之间，磷灰石的析出应具有相对较高的 CaO 浓度，CaO 为磷酸盐阴离子的沉淀剂。卡乌留克超基性岩体的铁镁质比值（M/F）为 0.58～0.72，为富铁质超基性岩，岩体的分异指数（SI）为 34.82～48.55。其中含矿岩体的铁镁质比值（M/F）为 0.88～0.91，分异指数为 28.71～29.46。

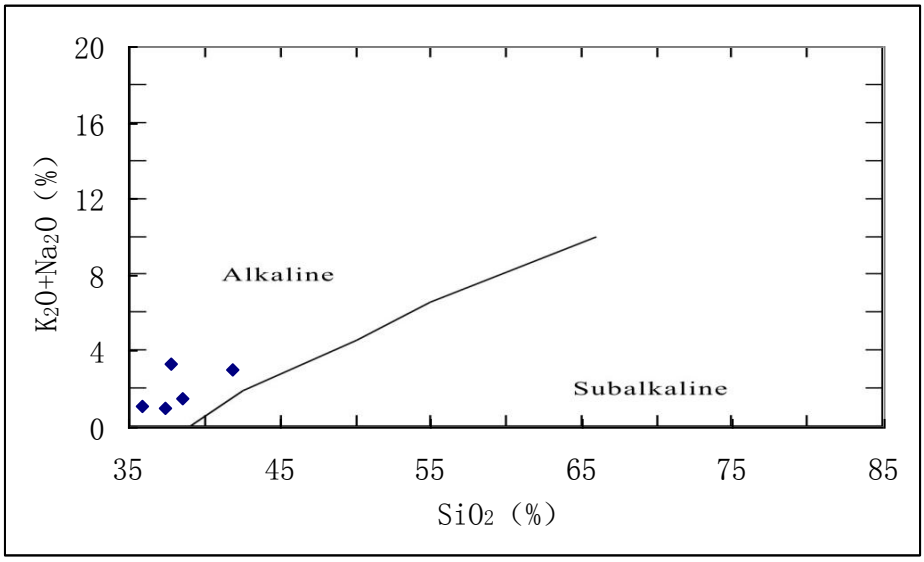



图 4.4 杂岩体岩石 $SiO_2$—$K_2O+Na_2O$ 关系图

岩体碱质含量较高，$Na_2O$ 最高可达 2.47%，$Na_2O>K_2O$。在 $SiO_2$-$K_2O+Na_2O$ 关系图上(图 4.4)，岩石投影几乎都落在碱性玄武岩系列区，岩石中 $Al_2O_3/TiO_2$ 比值分布在 2.14～7.74，小于原始地慢(球粒陨石的 $Al_2O_3/TiO_2=22$)。说明该岩体的岩浆在侵入过程中具有染化作用。

表 4.3 卡乌留克塔格岩体岩石化学成分 （%）

| 岩石名称 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | CaO | MgO | MnO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $P_2O_5$ | los | SI | M/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 含矿辉石岩 | 35.88 | 1.82 | 6.32 | 12.95 | 9.79 | 17.33 | 9.97 | 0.18 | 0.52 | 0.61 | 2.74 | 0.8 | 29.46 | 0.91 |
| 角闪辉石岩 | 37.82 | 3.8 | 10.24 | 18.79 | 9.63 | 10.08 | 3.63 | 0.34 | 0.84 | 2.47 | 1.5 | 0.48 | 10.27 | 0.37 |
| 辉石岩 | 38.54 | 1.63 | 12.61 | 9.12 | 9.54 | 15.72 | 7.65 | 0.25 | 0.59 | 0.96 | 1.62 | 0.7 | 27.46 | 0.85 |
| 辉石岩 | 41.88 | 1.44 | 9.59 | 8.67 | 9.44 | 15.81 | 7.05 | 0.27 | 0.89 | 2.15 | 2.14 | 0.48 | 25.00 | 0.80 |
| 含矿角闪石岩 | 37.44 | 2.17 | 4.64 | 17.29 | 9.42 | 14.36 | 11.15 | 0.16 | 0.35 | 0.62 | 0.1 | 1.14 | 28.71 | 0.88 |

注：岩石化学分析据夏学惠等，2009

### 4.1.6.2 微量元素地球化学特征

卡乌留克塔格岩体微量元素结果见表 4.4。

从表中可以看出该超基性岩体中大离子亲石元素（LILE；Ba、Sr）含量较高。其中 Sr 的含量为(716～1606)×$10^{-6}$ ，Ba 的含量为(438 ～4745)×$10^{-6}$, Rb 的含量为(1.04～2.51）×$10^{-6}$，高于此类元素在超基性岩中的含量，并且在角闪辉石岩中明显富集。

过渡金属元素含量变化较大，与岩性相关性强，随基性程度降低，在富铁质超基性岩岩石中 V 明显偏高，Cr、Co、Ni 含量则明显偏低。其中 V 含量为（122～470）×$10^{-6}$，Cr 的含量为（6.03～21.6）×$10^{-6}$，Co 的含量为（25.7～59.2）×$10^{-6}$，Ni 的含量为（7.30～55.8）×$10^{-6}$。此外，矿化辉石岩中 V 含量很高，是维氏值（维诺格拉夫，1962）的 10 倍。

高场强元素（HFSE；Zr）相对含量较低，岩体中 Zr 含量变化在（58.2～142）×$10^{-6}$，

Ga 的含量为（14.6～24.6）×$10^{-6}$，远高于背景值。

亲硫族造矿元素含量较高，其中 Cu 为（28.9～118）×$10^{-6}$，Pb 含量为（6.33～41.4）×$10^{-6}$，Zn 含量 为（121～168）×$10^{-6}$，Sn 含量（1.56～2.52）×$10^{-6}$，Mo 含量为（0.68～2.32）×$10^{-6}$，Sb 含量 为（0.076 ～0.18）×$10^{-6}$。明显高于其在超基性岩中的背景值。

总体上看，富铁质超基性岩的微量元素元素 Ba、Sr、Rb、Pb、Ga、V、Zr、Cu、Zn 含量较高，高于维氏值（维诺格拉多夫，1962）。其中不相容元素（Ba、Sr、Zr）明显富集，尤其是 Ba、Sr 和 LIL；岩石中元素 Cr、Co、Ni 等含量较低，且远低于维氏值，明显亏损相容元素。

表 4.4 卡乌留克塔格岩体岩石微量元素含量（$10^{-6}$）

| 产地 | 岩石名称 | Sr | Ba | Rb | Sb | Pb | Sn | Ga | Cr | Ni | Mo | V | Zr | Cu | Zn | Co |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 卡乌留克塔格 | 角闪辉石岩 | 1606 | 4745 | 2.43 | 0.076 | 14.1 | 2.52 | 14.6 | 6.03 | 12.2 | 0.76 | 122 | 142 | 118 | 121 | 25.7 |
| | 辉石岩 | 478 | 882 | 2.51 | 0.18 | 41.4 | 1.56 | 15.2 | 21.6 | 55.8 | 0.68 | 323 | 58.2 | 28.9 | 150 | 53.3 |
| | 含磷辉石岩 | 716 | 438 | 1.04 | 0.082 | 6.33 | 2.10 | 24.6 | 6.20 | 7.30 | 2.32 | 470 | 76.4 | 107 | 168 | 59.2 |
| ※ | 超基性岩 | 10 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 2.0 | 2000 | 2000 | 0.2 | 40 | 30 | 20 | 30 | 200 |

注：卡乌留克塔格微量元素分析据夏学惠等，2009；※据维诺格拉多夫，1962

### 4.1.6.3 稀土元素地球化学特征

杂岩体岩石稀土元素分析见表 4.5，稀土元素总量∑REE 为（176.81～381.66）×$10^{-6}$，稀土总量较高，LREE/HREE 值为 4.59～7.09，$(La/Sm)_N$为 1.42～2.83，$(Gd/Yb)_N$ 为 3.38～4.83，$(La/Yb)_N$为 9.81～23.64，$(Sm/Nd)_N$为 0.53～0.61。δEu 为 0.85～1.01，δCe 为 0.95～1.04。其δEu 值与碱性玄武岩（δEu=1.08）接近，说明杂岩体岩浆来源于地壳深部。

表 4.5 卡乌留克塔格岩体岩石稀土元素含量（$10^{-6}$）

| 编号 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 岩石名称 | 角闪石岩 | 含矿辉石岩 | 含矿辉石岩 |
| La | 19.70 | 43.50 | 56.80 |
| Ce | 59.20 | 95.80 | 132.00 |
| Pr | 9.72 | 13.50 | 20.40 |
| Nd | 45.00 | 57.40 | 89.40 |
| Sm | 8.97 | 9.94 | 16.30 |
| Eu | 2.60 | 2.56 | 4.06 |
| Gd | 6.24 | 7.70 | 12.10 |
| Tb | 0.86 | 0.91 | 1.60 |
| Dy | 3.90 | 3.64 | 7.43 |
| Ho | 0.62 | 0.57 | 1.26 |
| Er | 1.70 | 1.68 | 3.62 |
| Tm | 0.22 | 0.19 | 0.47 |
| Yb | 1.44 | 1.32 | 2.96 |
| Lu | 0.24 | 0.22 | 0.46 |
| Y | 16.40 | 15.20 | 32.80 |
| ∑REE | 176.81 | 254.13 | 381.66 |
| LREE | 145.19 | 222.70 | 318.96 |
| HREE | 31.62 | 31.43 | 62.70 |

| 编号 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| 岩石名称 | 角闪石岩 | 含矿辉石岩 | 含矿辉石岩 |
| LREE/HREE | 4.59 | 7.09 | 5.09 |
| δEu | 1.01 | 0.86 | 0.85 |
| δCe | 1.04 | 0.96 | 0.95 |
| （La/Sm）N | 1.42 | 2.83 | 2.25 |
| （Gd/Yb）N | 3.58 | 4.83 | 3.38 |
| (La/Yb）N | 9.81 | 23.64 | 13.76 |
| （Sm/Nd）N | 0.61 | 0.53 | 0.56 |

从岩石中的稀土元素的比值及稀土配分模式图明显表明（图 4.5），轻稀土元素高度富集，稀土配分曲线为向右倾斜较平直的曲线，其中轻稀土，重稀土元素基本平坦，中稀土元素右倾斜。

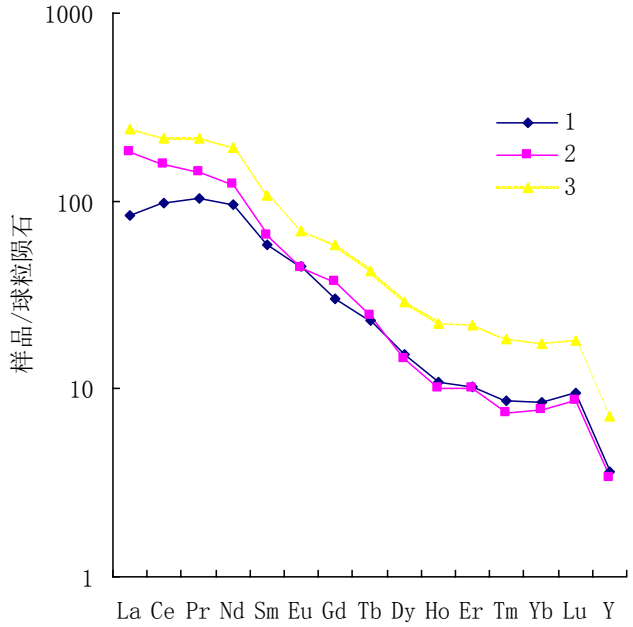



图 4.5 卡乌留克塔格岩体稀土元素分配模式

## 4.2 大西沟铁磷矿

矿床位于兴地大断裂南侧约 3～4km 处，区内绝大部为第四系覆盖，局部有基岩出露，为太古宇变质岩及超基性小岩体群。

### 4.2.1 矿区地质

#### 4.2.1.1 地层

矿区内出露的地层仅见太古宇托克布拉克群及第四系（图 4.6）。

太古宇托格拉克布拉克群：由混合片麻岩、花岗片麻岩组成。呈孤岛状出露，主要分布在矿区的东部及北部。

混合片麻岩：岩石混合岩化较深，基体为斜长角闪质，占 60%～80%，脉体为长英

质，占 20%～40%。脉体形状复杂，有肠状、串珠状、眼球状、脉状。基体脉状密集排列，形成小型揉皱褶曲，混合片麻岩的片麻理产状与区域构造线一致，产状为 0°～10°＜45°～50°。

花岗片麻岩：产于混合片麻岩中，宽一般几米～十几米，产状和片麻理基本一致，接触界线基本清晰。

第四系：矿区大部分被第四系覆盖，主要分布在矿区的东北部和西南部。堆积物厚度由西向东逐渐变厚，由十几米到几十米，具水平层理。堆积物为冲洪积砂砾，砾石占 60%,砾径 10～50mm，个别大于 200mm，底部为洪积巨砾，砾径 300～500mm，次棱角状，分选性较好，砾石成分有大理石、粉砂岩、千枚岩、混合片麻岩、斜长岩、花岗岩、辉绿岩等。充填有细砂粒、亚砂土。另有少量薄层砂质粘土。

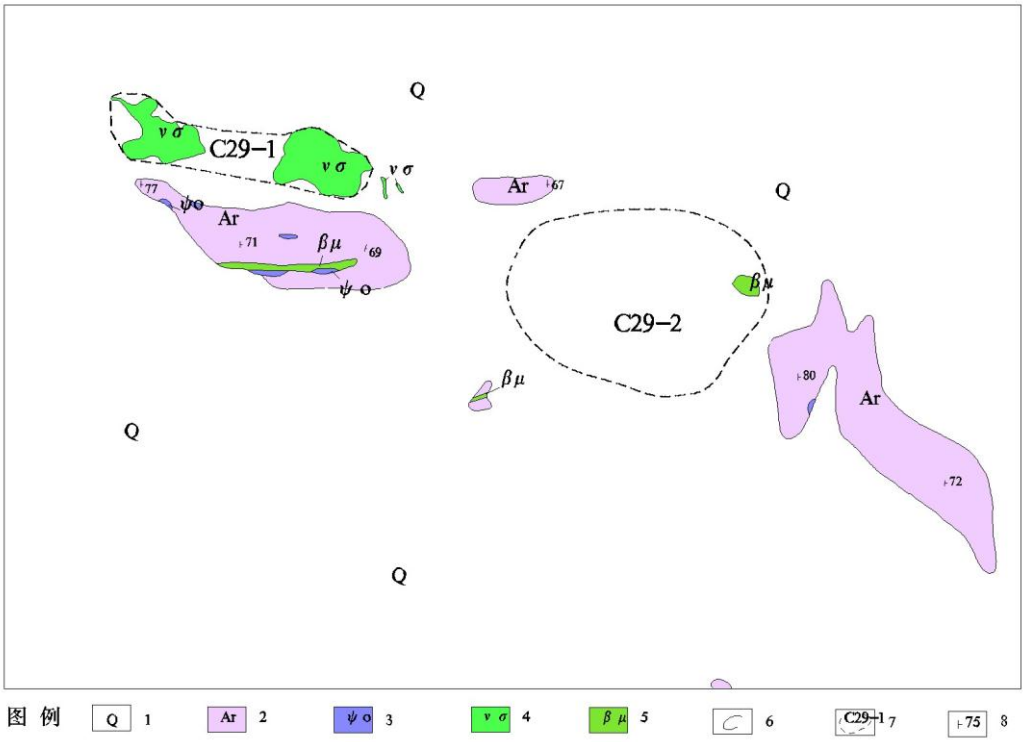



图 4.6　大西沟铁磷矿矿区地质图

1-第四系砾石，砂及粘土；2-太古宇托格拉克布拉克群片麻岩；3-角闪石岩；4-辉长岩；5-辉绿岩脉；6-地质界线；7-磁异常编号；8-片理产状；

### 4.2.1.2 构造

矿区内大部分为第四系覆盖，构造特征基本不清。

### 4.2.1.3 岩浆岩

矿区内岩浆岩为基性—超基性杂岩，呈小岩体群出露，主要分布在矿区西南大西沟一带，单个岩体规模较小，地表出露一般长约 20～80m，宽 10～20m。目前已发现有十余个，推测其深部可能连在一起。小岩体大部分呈北东走向，倾向南东。岩体主要由斜

长岩组成，其次为辉长岩，少量角闪石岩，辉绿岩脉发育。其中铁磷矿赋存于斜长岩中。现将主要岩石类型的特征简述如下：

斜长岩：是岩体的主要组成岩石类型，但地表出露较少，风化较严重。岩石新鲜面呈灰白色，半自形晶结构，块状构造。岩石中的主要矿物成分为斜长石，含量约 85～90％。此外，次要矿物为黑云母、磁铁矿、磷灰石等。磁铁矿、磷灰石在岩石中含量不均匀，局部富集可形成矿体（照片 01）。岩石蚀变普遍，主要为绿泥石化及绿帘石化。

辉石岩类：地表未见出露，钻孔中的揭露主要为含黑云母角闪透辉石岩，少量二辉岩。

辉石橄榄岩：钻孔中揭露也较少。岩石一般呈黑褐色，自形—半自形晶，中细粒结构，块状构造。岩石主要矿物成分有橄榄石（50％）、透辉石（25％）、紫苏辉石（20％），少量黑云母。

角闪石岩：主要分布于矿区的西北部，地表露头发育，主要集中在磁异常 C29-1 的范围内。岩石呈深灰黑色，半自形晶结构，块状构造。岩石矿物成分主要为角闪石（90％以上），少量黑云母、辉石、磁铁矿等。

辉长质斜长岩：为隐伏岩体。岩石呈灰色，半自形—它形结构，块状构造。岩石主要由斜长石（70％～75％），普通辉石（<10%）组成；次要矿物为透辉石、绿泥石、黑云母等。磁铁矿、磷灰石在岩石中含量不均匀，局部富集可形成矿体。

辉绿岩：由于第四系覆盖严重，矿区内零星出露。主要分布在矿区的西北部太古界的地层中，脉体状产状。近东西走向，主要脉体长约数百米，脉宽一般数十米。岩石呈深灰色，辉绿结构，块状构造。岩石主要矿物成分为斜长石（30%～40％）、普通辉石（25％～35％）。次要矿物为角闪石、黑云母、磁铁矿、磷灰石等。

### 4.2.2 地面磁异常特征

该地区布设 1∶1 万高精度地面磁法测量，发现磁异常区 2 处（图 4.5）。编号 C29-1，C29-2。

C29-1 号异常位于矿区西北部，平面形态为近东西走向的条带状，长约 2km，宽约 300m，由三个高异常圈闭组成，异常北侧，南侧，西侧有明显的负值伴生。△T 最大值为 1530nT，最小值为-600nT。

C29-2 号异常位于矿区中部，异常总体形态为近圆形。总体近走向北西，长约 2km，宽约 1.5km，总面积 3km$^2$，异常北侧，西侧有明显的负异常伴生，正负异常强度较大，△T 最大值为 3250nT，最小值为-1250 nT。

通过磁法测量数据处理结果，综合分析认为 C29-2 中部和南部异常为具有较大延深的磁性体引起，总体倾向南西，倾角 10°～15°左右。

### 4.2.3 矿体地质

矿体主要赋存与杂岩体的斜长岩内，根据目前的勘查程度，从上自下可划分出五个矿体，矿体呈似层状、透镜状产出，产状近水平（图 4.7）。矿石以铁磷矿为主，含矿岩石类型以斜长岩，辉长质斜长岩为主。Ⅰ～Ⅴ号矿体分部在自地表（标高 1248m）至深部（标高 880m）间。不同矿体之间主要由辉绿岩、斜长岩、辉长质斜长岩分开，矿体总厚度达 40 余米。矿体厚度变化较大，地表及浅部矿体较薄，深部矿体较薄；矿体中间较厚，两端变薄。矿体沿倾向变化较大，沿走向变化不大。大部分为隐伏矿体。主要矿体特征如下：

现将主要矿体特征分述如下：

$Ⅰ_1$号铁磷矿体：分布于 0～1 线之间，矿体为钻孔控制，位于孔深 20.00～145.34m 处，赋矿标高 1115～1235m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 850m，宽 680m。矿体在北部较厚，往南矿体变薄。矿体单工程厚度 2.00～86.94m，平均厚度 49.60m；品位 TFe 12.03%～17.05% ，TFe 平均品位 13.67%；$P_2O_5$1.23%～4.50%，$P_2O_5$ 平均品位 2.61%。厚度变化系数为 107.76%。TFe 品位变化系数 25.07%，$P_2O_5$品位变化系数 4.65%。




图 4.7 大西沟铁磷矿 0 勘探线剖面图

1-第四系；2-铁磷矿化斜长岩；3-斜长岩；4-辉绿岩;5-正长岩；

6-铁磷矿体；7-矿体厚度/品位:$P_2O_5$/TFe（%）；8-钻孔及编号；

$II_2$号铁磷矿体：分布于 0 线，赋存在Ⅰ号矿体下部，矿体位于孔深 150.94～207.00m 处，赋矿标高 1054.00～1104.06m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 228m，宽 355m。矿体在北部较厚，品位也较高，往南矿体变薄。矿体单工程厚度 6.40～46.40m，平均厚度 30.80m；TFe 13.20～14.06%，TFe 平均品位 13.59%；$P_2O_5$2.47～3.08%，$P_2O_5$ 平均品位 2.58%。矿体厚度变化系数为 65.62%。TFe 品位变化系数 19.16%，$P_2O_5$品位变化系数 3.49%。

$IV_{1-1}$号磁铁矿体：分布于 0～1 线之间，赋存在III号矿体下部，有 ZK0-2，ZK1-2 两个钻孔控制。位于孔深 265.35～314.10m 处，赋矿标高 937.90～986.65m，矿体呈似层状产出，走向北西，近水平分布。矿体长 450m，宽 200 m。矿体单工程厚度 2.10～11.25m，平均厚度 16.68m；TFe 12.01%～24.60%，TFe 平均品位 13.89%；$P_2O_5$ 1.24%～1.82%，$P_2O_5$ 平均品位 1.48%。矿体厚度变化系数为 41.08%。TFe 品位变化系数为 18.30%，$P_2O_5$品位变化系数 2.09%。

综上所述，矿体品位变化较均匀，厚度变化不均匀。

### 4.2.4 矿石特征

#### 4.2.4.1 矿石特征

按照矿石的构造和组成矿石的矿物成分为浸染状矿石和块状矿石，主要为浸染状，次为团块状。

**浸染状矿石**

矿石中矿石矿物颗粒较均匀，粒径一般为 0.5～3mm，大者 5mm。呈细粒浸染状嵌布或包裹于其他矿物中。主要矿石矿物为磁铁矿、磷灰石、钛磁铁矿、钛铁矿。

**块状矿石（照片 01，照片 06）**

矿石中矿石矿物颗粒稠密聚集，矿石矿物含量大增形成致密块状。主要矿石矿物为磁铁矿、磷灰石。脉石矿物主要有斜长石，少量辉石、黑云母、绿泥石、黄铁矿等。

**矿石矿物特征**

矿石矿物的分析主要是应用放大镜和显微镜。该矿床矿石矿物较多，主要为磁铁矿、磷灰石，次为钛铁矿、钛磁铁矿。脉石矿物主要有斜长石、角闪石，次为透辉石，少量黑云母、绿泥石等。

磁铁矿：为组成矿石的主要矿物，矿物多呈深灰色、黑色，结晶程度不等，以半自形—自形晶为主，他形晶次之。粒径一般为 0.2～3 mm，大者达 5 mm 以上；多以集合体形式嵌布。

磷灰石：一般为半自形，呈六方柱状及粒状产出，少量呈长柱状或针状。粒径一般为 0.1～1 ㎜,一般情况下,磷灰石与周围矿物接触线平整,呈分散颗粒状或集合体嵌布。

钛磁铁矿：呈深灰色、黑色，结晶程度不等，以半自形为主，自形、它形次之。粒

径一般为 0.06～0.6 mm，大者达 3mm 以上。多以集合体形式嵌布。

钛铁矿：以他形粒状为主，粒径一般为 0.2～0.3 mm；多包裹在钛磁铁矿中。

#### 4.2.4.2 矿石的结构构造

矿石的结构为结晶粒状结构；矿石构造主要为浸染状构造、团块状构造。

#### 4.2.4.3 矿石化学组成特征

矿石中矿石矿物主要为磁铁矿、钛磁铁矿、磷灰石，为独立矿物出现。其中有用化学成分为 Fe、Ti、P，分析测试结果如下（表 4.6）：

TFe 含量 11.20%～16.49%，平均含量为 13.86，$TiO_2$ 含量为 1.31%～2.79%，平均含量为 2.05%，$P_2O_5$ 含量 2.08%～3.04%，平均含量为 2.56%。

矿石中其他主量元素化学成分平均含量为：$SiO_2$ 40.68%，$Al_2O_3$ 10.59%，$Fe_2O_3$ 15.95%，FeO 5.46%。，MnO 0.18%，MgO 4.66%。，CaO8.23%，$K_2O$ 0.74%。，$Na_2O$ 2.56%。

铁磷矿石中有害组份主要为 As，含量均偏较低，不影响铁磷矿矿石的加工和利用。

表 4.6 大西沟铁磷矿矿石组合分析结果表($10^{-6}$)

| 岩石名称 | F（%） | Cd | As | Cl | I | Cu | Ni | Co |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 铁磷矿 | 0.30 | 0.16 | 2.80 | 303 | 0.34 | 66.4 | 22.3 | 67.7 |
| | 0.39 | 0.15 | 3.40 | 290 | 0.35 | 89.6 | 42.5 | 76.9 |
| | 0.23 | 0.18 | 1.50 | 189 | 0.35 | 112 | 90.9 | 74.4 |

注：化学分析由中化地质矿山总局中心实验室完成

### 4.2.5 矿体围岩

矿体的围岩主要为斜长岩、辉长质斜长岩，次为正长岩。矿体与围岩的界线不明显，多数为渐变过渡关系。矿体内夹层多为斜长岩、辉长质斜长岩。

### 4.2.6 矿床地球化学特征

#### 4.2.6.1 主量元素地球化学特征

根据岩石化学分析数据可分析（见表 4.7）。杂岩体岩石中 $SiO_2$ 含量为 26.31～49.80%，$Al_2O_3$ 含量为 3.64%～16.70%，MgO 含量变化较大，1.69%～26.81%，$K_2O$ 含量为 0.30%～1.24% ，$Na_2O$ 含量为 1.76%～4.56%，$P_2O_5$ 含量为 0.07%～3.98%。

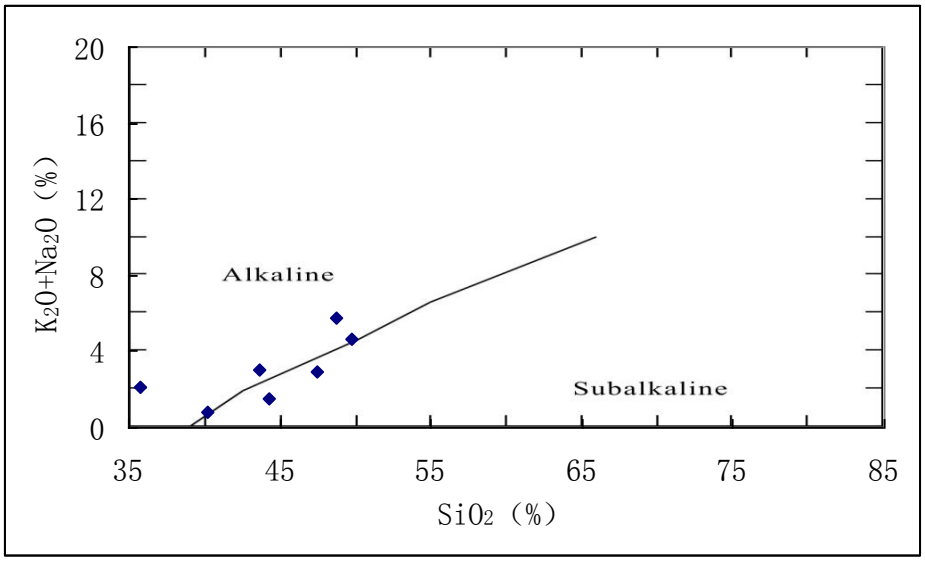



图 4.8 杂岩体岩石 $SiO_2$-$K_2O$+$Na_2O$ 关系图

大西沟岩体岩石中 $SiO_2$ 含量小于 52%，硅酸不饱和较明显，为一基性—超基性杂岩体，其中含矿斜长岩中 $SiO_2$ 含量为 26.31%～35.70%。岩体的铁镁质比值（M/F）为 0.34～1.76，为富铁质超基性岩及铁质基性岩，岩体的分异指数（SI）为 7.77～61.38。其中含矿岩体的铁镁质比值（M/F）为 0.34～0.60，分异指数为 7.77～16.27。岩石 CaO 含量较高，一般在 3.62%～13.85%之间，含磷灰石矿岩石的 CaO 含量比其他岩石含量高，为 7.56%～10.38%，磷灰石的析出应具有相对较高的 CaO 浓度，CaO 为磷酸盐阴离子的沉淀剂。

岩体碱质含量较高，$Na_2O$ 最高可达 4.56%，$Na_2O$>$K_2O$。在 $SiO_2$-$K_2O$+$Na_2O$ 关系图上(图 4.8)，数据点投影要么落在碱性玄武岩范围内，要么落在碱性玄武岩和拉斑玄武岩的交界线附近，而矿化斜长岩的数据点则主要分布在碱性玄武岩系列区。杂岩体属钠质偏碱性岩系列。岩石中 $Al_2O_3/TiO_2$ 比值分布在 1.43～10.25 范围内，小于原始地慢(球粒陨石的 $Al_2O_3/TiO_2$=22)。说明该岩体的岩浆在侵入过程中具有染化作用。

表 4.7 大西沟杂岩体岩石化学成分（%）

| 岩性 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $P_2O_5$ | los | *SI* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 矿化斜长岩 | 33.06 | 5.15 | 10.68 | 26.47 | 1.09 | 0.19 | 4.58 | 9.25 | 0.71 | 2.05 | 2.65 | 3.50 | 13.12 |
| 斜长岩 | 47.47 | 2.34 | 12.61 | 5.30 | 10.89 | 0.22 | 7.60 | 7.29 | 0.65 | 2.23 | 1.31 | 1.18 | 28.50 |
| 矿化斜长岩 | 35.70 | 4.75 | 9.57 | 24.17 | 1.20 | 0.20 | 5.35 | 10.38 | 0.41 | 1.76 | 2.56 | 5.46 | 16.27 |
| 斜长岩 | 48.74 | 2.60 | 18.84 | 5.94 | 4.33 | 0.09 | 1.69 | 7.87 | 1.24 | 4.56 | 1.38 | 1.42 | 9.52 |
| 斜长岩 | 49.80 | 1.63 | 16.70 | 4.77 | 7.18 | 0.14 | 3.68 | 7.51 | 1.00 | 3.60 | 1.42 | 0.92 | 18.19 |
| 矿化斜长岩 | 26.31 | 6.42 | 9.21 | 37.66 | 1.81 | 0.22 | 3.48 | 7.56 | 0.55 | 1.29 | 3.98 | 5.06 | 7.77 |
| 辉石斜长岩 | 43.71 | 5.42 | 12.77 | 7.36 | 11.69 | 0.21 | 6.24 | 7.78 | 0.60 | 2.43 | 1.14 | 0.33 | 22.03 |
| 二辉橄榄岩 | 40.19 | 0.45 | 3.64 | 10.09 | 7.06 | 16.04 | 26.81 | 3.62 | 0.30 | 0.53 | 0.07 | 0.83 | 59.86 |
| 辉石岩 | 44.23 | 0.92 | 8.47 | 2.90 | 6.16 | 8.76 | 16.85 | 13.85 | 0.50 | 1.04 | 2.24 | 1.54 | ·61.38 |

注：1-7 为中化地质矿山总局中心实验室分析完成；8，9 据洛长义等，1998。

### 4.2.6.2 微量元素地球化学特征

对大西沟基性—超基性岩体的微量元素分析，结果见表 4.8。

从表中可以看出该基性—超基性岩体中大离子亲石元素（LILE；Ba、Sr）含量较高。Sr 的含量为（519～873）×$10^{-6}$，Ba 的含量为（504～1089）×$10^{-6}$，远高于此类元素在超基性的维氏值，尤其富集在铁磷矿矿化的斜长岩中。

过渡金属元素含量变化较大，其中 V 含量为（122～470）×$10^{-6}$，Cr 的含量为（29.0～67.9）×$10^{-6}$，Co 的含量为（26.6～53.3）×$10^{-6}$，Ni 的含量为（14.2～66.5）×$10^{-6}$。与维氏值（维诺格拉夫，1962）对比发现，其中 V 含量高于超基性岩中的维氏值；Cr，Co 的含量远低于超基性岩中的维氏值。岩体相对富集钒元素。

高场强元素 Zr 含量为（110.2～156.0）×$10^{-6}$，Ga 的含量为（16.4～67.0）×$10^{-6}$，远高于超基性岩中的维氏值。

亲硫族造矿元素含量较高，其中 Cu 为（28.9～118）×$10^{-6}$，Pb 含量为（6.33～41.4）×$10^{-6}$，Zn 含量 为（121～168）×$10^{-6}$，Sn 含量（1.56～2.52）×$10^{-6}$，Mo 含量为（0.68～2.32）×$10^{-6}$，Sb 含量 为（0.076 ～0.18）×$10^{-6}$。

总体上看，富铁质超基性岩铁质基性岩中的微量元素元素 Ba、Sr、Rb、Pb、Ga、V、Zr、Cu、Pb、Zn 含量较高，高于维氏值（维诺格拉多夫，1962）。其中不相容元素（Ba、Sr、Zr）明显富集，尤其是 Ba、Sr 和 LIL；岩石中元素 Cr、Co、Ni 等含量较低，且远低于维氏值，明显亏损相容元素。

表 4.8 微量元素分析结果登记表（$10^{-6}$）

| 岩石名称 | Sr | Ba | B | Cu | Pb | Zn | Cr | Ni | Co | Mo | V | Ti | Sn | Ga | Ge | Zr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 斜长岩 | 684 | 504 | 15.8 | 29.4 | 6.33 | 118 | 67.9 | 62.62 | 47.6 | 0.50 | 188 | 11190 | 1.54 | 16.4 | 0.82 | 110.2 |
| 斜长岩 | 519 | 523 | 16.0 | 30.6 | 7.18 | 135 | 53.9 | 66.5 | 53.3 | 0.48 | 185 | 11620 | 1.41 | 16.5 | 0.46 | 110.8 |
| 矿化斜长岩 | 873 | 1089 | 14.2 | 25.5 | 5.62 | 103 | 31.1 | 14.2 | 26.6 | 0.47 | 149 | 5954 | 1.70 | 28.7 | 0.65 | 156.0 |
| 矿化斜长岩 | 788 | 965 | 9.87 | 44.2 | 10.7 | 149 | 29.0 | 19.6 | 38.9 | 1.19 | 255 | 13385 | 2.39 | 67.0 | 0.53 | 136.0 |
| 超基性岩 | 10 | 1 | 0.5 | 20 | 0.1 | 30 | 2000 | 2000 | 200 | 0.2 | 40 | 40 | 0.5 | 2 | 30 | 30 |
| 基性岩 | 440 | 300 | | 100 | 8 | 130 | 200 | 160 | 45 | 1.4 | 200 | | 1.5 | 18 | | 200 |

注：样品为中化地质矿山总局中心实验室分析完成。

### 4.2.6.3 稀土元素组成特征

杂岩体岩石稀土元素分析见表 4.9，稀土元素总量ΣREE 为(183.09～225.88)×10-6，稀土总量较高；LREE/HREE 值为 9.72～12.27，显示轻稀土元素高度富集。$(La/Sm)_N$ 为 2.12～2.54，$(Gd/Yb)_N$ 为 3.91～5.39，$(La/Yb)_N$ 为 16.68～28.19，$(Sm/Nd)_N$ 为 0.69～0.75。δEu 为 0.93～1.2，δCe 为 0.84～0.94。其δEu 值与碱性玄武岩（δEu=1.08）接近，说明杂岩体岩浆来源于地壳深部。

表 4.9 大西沟铁磷矿岩矿石稀土元素含量（$10^{-6}$）

| 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 岩石名称 | 斜长岩 | 斜长岩 | 矿化斜长岩 | 辉石斜长岩 |
| La | 33.4 | 31 | 39.4 | 30 |
| Ce | 68.4 | 62.5 | 82.8 | 70.8 |
| Pr | 10.9 | 10.6 | 13.4 | 11.3 |
| Nd | 37.4 | 36.5 | 45.6 | 37.2 |
| Sm | 8.48 | 8.96 | 10.4 | 9.12 |
| Eu | 2.42 | 2.12 | 2.54 | 2.03 |
| Gd | 5.54 | 6 | 6.71 | 6.1 |
| Tb | 0.62 | 1.04 | 1.08 | 1.16 |
| Dy | 3.3 | 3.89 | 4.08 | 4.06 |
| Ho | 0.7 | 0.86 | 0.88 | 0.92 |
| Er | 1.68 | 2.12 | 2.14 | 2.25 |
| Tm | 0.31 | 0.36 | 0.37 | 0.4 |
| Yb | 0.85 | 1.18 | 1.12 | 1.29 |
| Lu | 0.12 | 0.16 | 0.16 | 0.18 |
| ∑REE | 187.72 | 183.09 | 225.88 | 193.61 |
| LREE | 161.00 | 151.68 | 194.14 | 160.45 |
| HREE | 26.72 | 31.41 | 32.34 | 33.16 |
| LREE/HREE | 12.27 | 9.72 | 11.74 | 9.81 |
| Eu | 1.20 | 0.99 | 1.04 | 0.93 |
| Ce | 0.87 | 0.84 | 0.88 | 0.94 |
| $(La/Sm)_N$ | 2.54 | 2.23 | 2.45 | 2.12 |
| $(Gd/Yb)_N$ | 5.39 | 4.21 | 4.96 | 3.91 |
| $(La/Yb)_N$ | 28.19 | 18.84 | 25.23 | 16.68 |
| $(Sm/Nd)_N$ | 0.69 | 0.75 | 0.70 | 0.75 |

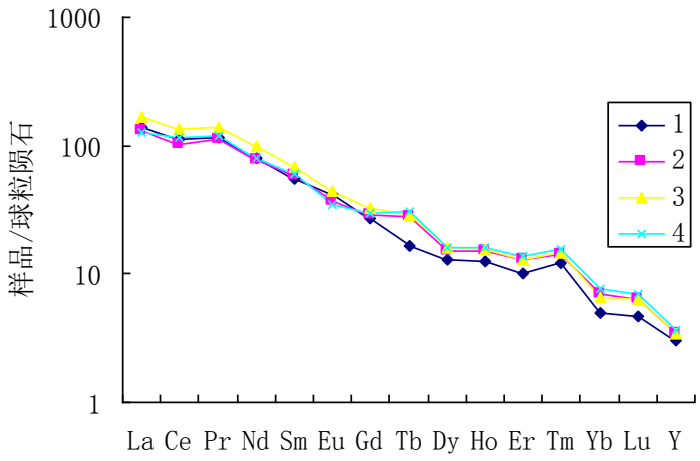



图 4.9 大西沟岩体稀土元素分配模式

岩石中稀土元素比值及稀土配分模式图明显表明（图 4.9），轻稀土元素高度富集，稀土配分曲线为向右倾斜较平直的曲线。由斜长岩到矿化斜长岩岩石稀土配分曲线基本

一致，曲线均显示 Ce 轻度负异常。

## 4.3 团结村北山铁磷矿

矿床位于新疆尉犁县阿克苏甫乡，县城东偏北约 265 公里，地理坐标：东经 88° 56′ 00″ ～88° 58′ 00″，北纬 41° 01′ 30″～41° 03′ 30″，中心点坐标：东经 88° 57′ 00″，北纬 41° 02′ 30″，面积 10.36km$^2$。与外界仅有便道相连，交通条件较差。

### 4.3.1 矿区地质

#### 4.3.1.1 地层

矿区内第四系广泛分布，出露的地层很少。出露地层主要为太古界托格拉克布拉克群片麻岩和第四系（图 4.10）。

托格拉克布拉克群，岩石岩性主要为混合片麻岩及花岗片麻岩。

混合片麻岩：岩石混合岩化较深。基质为斜长角闪质，占 70%，脉体为长英质，占 30%。脉体形状复杂，有肠状、串珠状、眼球状、脉状。基体脉状密集排列，形成小型揉皱褶曲，混合片麻岩的片麻理产状与区域构造线一致，产状为0°～10°∠45°～50°。

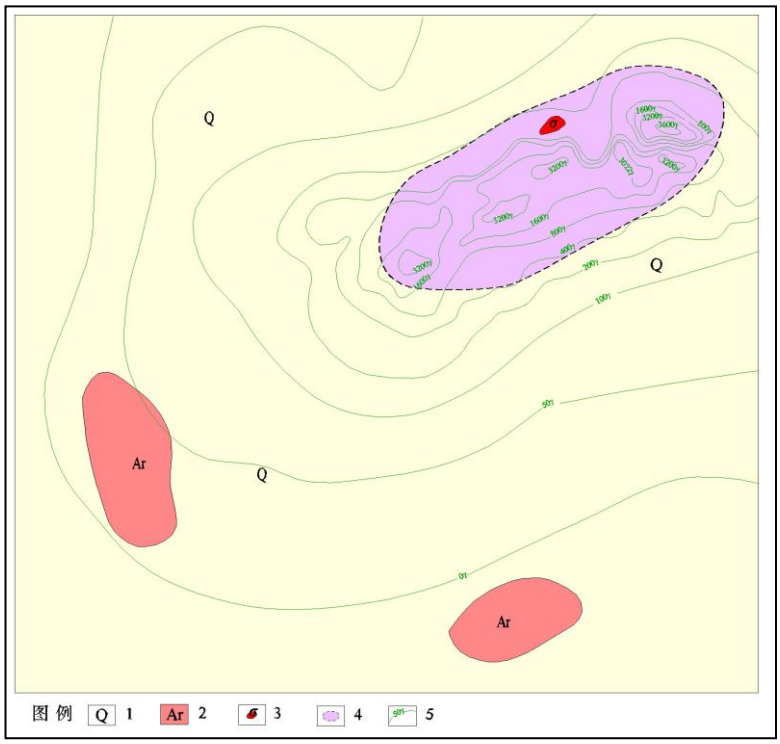



图 4.10 团结村北山地质图

1-第四系；2-太古宇托格拉克布拉克群片麻岩；3-透辉石岩；4-磁异常推测岩体界限；5-磁法等值线

岩石呈浅灰绿色、浅肉红色，交代蚕食或交代反条纹结构、条带状构造、片麻状构造。主要矿物为中长石（45%左右）、微斜长石（20%）、石英（25%）、角闪石（15%），

黑云母（5%）、锆石（1%），且分布不均。

花岗片麻岩：产于混合片麻岩中，宽一般几米～十几米，产状和片麻理基本一致，接触界线基本清晰。

岩石呈灰色—灰黑色，花岗变晶结构，块状构造、条带构造。岩石主要由微斜长石（40～50%）、斜长石（10～30%）、石英（20～40%）组成，少量榍石等矿物。

第四系：主要为冲洪堆积，少部分残坡积。

残坡积物厚约 0.5～10m。 堆积物为冲洪积砂砾，砾石占 60%，砾径 10～50mm，个别大于 200mm，底部为洪积巨砾，砾径 300～500mm，次棱角状，分选性较好，砾石成分有大理石、粉砂岩、千枚岩、混合片麻岩、角闪斜长岩、花岗岩、辉绿岩等。充填有细砂粒、亚砂土。另有少量薄层砂质粘土。

冲积物分布于现代河床中，厚 0.5～20m，堆积物为冲洪积砂砾，砾石多为扁平状角砾，分选性一般。砾石成分主要为混合片麻岩、千枚岩、片岩、粉砂岩，少量的大理岩，花岗片麻岩、花岗岩。砾石含量 60～90%，亚砂土 10～40%，砾石砾径 10～30mm。

#### 4.3.1.2 构造

矿区大部被第四系所覆盖，构造特征基本不清。在出露少量的变质岩区，主要表现为劈理，片理发育，片理产状约为 110°∠75°。

#### 4.3.1.3 岩浆岩

矿区第四系覆盖严重，大部分为砂砾质戈壁，含矿岩体出露较少，主要分布于矿区的东北部，为黑云母透辉石岩。杂岩体主要由黑云母透辉石岩及辉石岩组成。

黑云母透辉石岩，岩石新鲜面呈深灰—黑绿色，半自形中粒晶结构，块状构造，矿物成分主要有透辉石，含量约 80～90%，黑云母，含量约 10%，其次为角闪石。少量磁铁矿、磷灰石等（照片 07）。

### 4.3.2 地面磁异常特征

**航磁异常特征**

在 1:10 万航空磁法测量中。本区发现有新 C-79-89 号航磁异常。该异常平面形态为带状，形态规则，走向北西，长约 4km，宽约 1～1.5km,北东侧有负值异常伴生，△T 最大值为 830nT，最小值为-150nT。异常梯度变化明显。

**地面磁异常特征**

通过 1:1 万高精度地面磁法测量，发现磁异常区，该磁异常圈闭较好，呈北西南东向，长轴状椭园状，长约 2km，宽约 0.5km，异常磁场强度一般为 500～1500nT，最强达 3600nT 左右，由三个异常中心组成，并有正负异常伴生。异常梯度变化较大。根据磁异

常形态和磁力等值线密度分析，推测隐伏岩体平面形态为一不规则的椭圆形，长约3.2km，宽650m，走向100°～200°，直立式向南陡倾的岩体。

### 4.3.3 矿体地质

#### 4.3.3.1 矿体分布特征

通过钻探验证，发现隐伏的铁磷矿体，位于孔深68～90m，产在黑云母透辉石岩内，按$P_2O_5$≥2.5%，TFe≥12%为最低工业品位，圈定铁磷矿体；按P205≥8.0%，圈定磷矿体。共圈出2（层）个铁磷矿体，1（层）个磷灰石矿体（图4.11）。

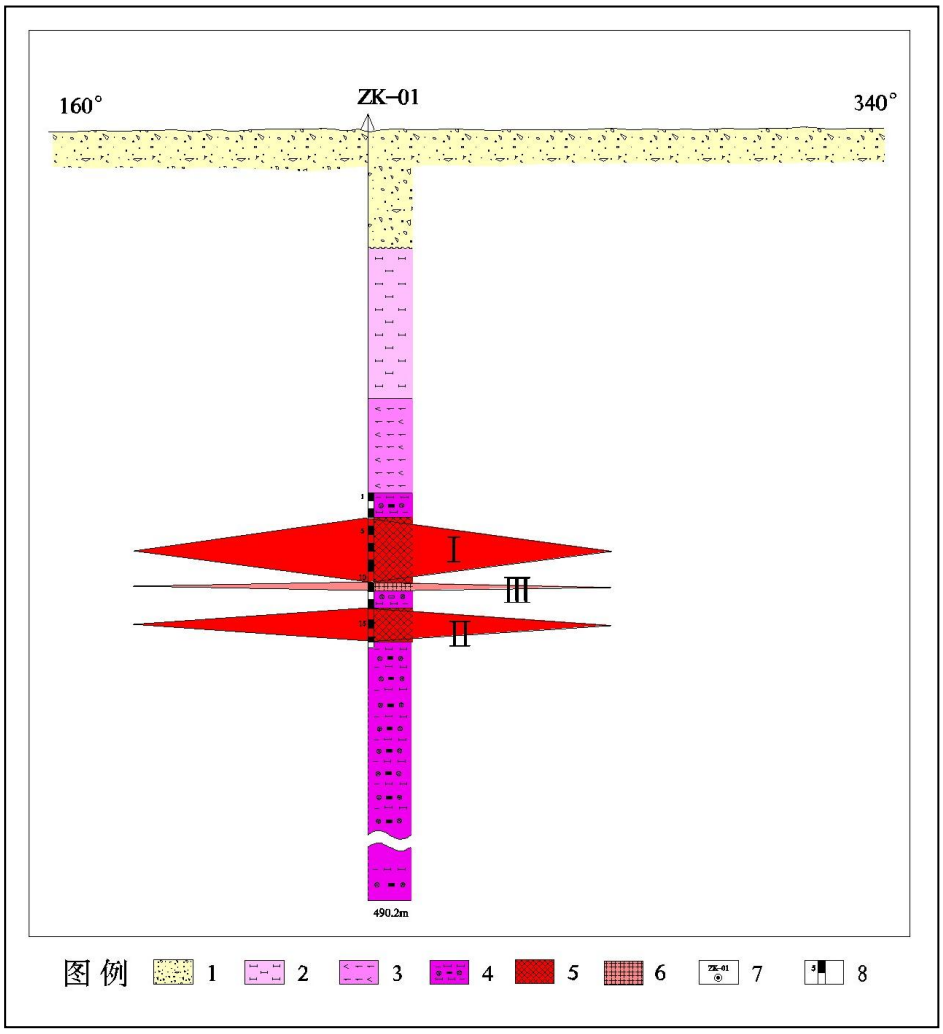



图4.11 团结村北山磷矿0勘探线剖面图

1-砾石，砂及粘土；2-透辉石岩；3-角闪辉石岩；4-铁磷矿化黑云母透辉石岩；5-铁磷矿；6-磷矿；7-采样位置及编号；

Ⅰ号矿体：为铁磷矿体，位于孔深68.00～79.50m，厚度11.50m，$P_2O_5$品位2.19～3.11%，平均2.73%；TFe品位14.57%～21.04%。平均17.18%。

Ⅱ号矿体：为铁磷矿体，位于孔深84.00～90.00m，厚度6.00m，$P_2O_5$品位2.08～3.78%，平均2.85%；TFe品位17.84%～21.27%。平均18.84%。

Ⅲ号矿体：为磷矿体，位于孔深 79.50～81.00m 处，厚 6.00m,$P_2O_5$ 品位达 8.22%。

据分析，本区磷灰石矿类型与河北矾山矿床为同一类型，具有找矿前景。

### 4.3.4 矿石特征

#### 4.3.4.1 矿石特征

按照矿石的构造和组成矿石的矿物成分可分为浸染状磁铁矿磷灰石矿石（照片 08）和次团块状磁铁矿磷灰石矿石。

**矿石矿物特征**

矿石矿物的分析主要是应用放大镜和显微镜。矿石矿物主要有磷灰石、磁铁矿。脉石矿物主要有透辉石、角闪石和斜长石，并含有少量正长石、黑云母、绿泥石等，黄铁矿呈星点状产出。

磷灰石：灰白色，多呈半自形柱状或粒状，少量呈长柱状或针状。粒径一般为 0.1～1mm，一般情况下，磷灰石与周围矿物接触线平整，成分散颗粒或集合体嵌布。

磁铁矿：呈深灰色—黑色，结晶程度不等，以半自形—自形晶为主，他形晶次之。粒径一般为 0.2～2mm，多以集合体形式产出。

#### 4.3.4.2 矿石的结构构造

矿石结构主要为粒状结构；矿石构造以浸染状构造为主，团块状构造次之。

浸染状构造：磷灰石，磁铁矿呈星散状均匀分布。团块状构造：磷灰石、磁铁矿呈不规则集合体分布。

#### 4.3.4.3 矿石化学组成特征

根据测试分析结果，矿石中主要有用组分为 Fe、P，磁铁矿和磷灰石在矿石中呈独立矿物存在。TFe 含量 14.57%～21.27%。$P_2O_5$ 含量 2.08%～8.22%。

矿石中其他主要化学成分及平均含量为：SiO2 36.08%，$Al_2O_3$ 5.58%，$TiO_2$ 1.44%，$Fe_2O_3$ 20.95%，FeO 0.87%，MnO 0.20%，MgO 10.02%，CaO 19.58%，$K_2O$ 0.28%，$Na_2O$ 0.71%，$CO_2$ 1.92%。

### 4.3.5 矿体围岩

矿体的围岩为辉石岩。矿体与围岩的界线不明显，多数为过渡关系。

辉石岩：岩石新鲜面为深灰—灰黑色，半自形中粒结构，块状构造。岩石的主要主要矿物成分为透辉石，含量约占 75～85%，次要矿物为角闪石，少量磁铁矿、黑云母、磷灰石等。岩石一般比较完整，局部破碎。

### 4.3.6 矿床地球化学特征

#### 4.3.6.1 主量元素特征

根据岩石化学分析数据可分析（表 4.10），岩体岩石中 $SiO_2$ 含量为 37.78～43.06%，$Al_2O_3$ 含量为 1.60%～5.32%，MgO 含量为 10.24%～13.59%，$K_2O$ 含量为 0.29%～0.70% ，$Na_2O$ 含量为 0.36%～1.08%，$P_2O_5$ 含量为 1.56%～1.70%。

岩体岩石中 $SiO_2$ 含量均小于 45%，明显的硅酸不饱和岩，为一超基性岩体，其中含磷灰石矿的辉石岩 $SiO_2$ 含量为 37.78%。岩石 CaO 含量普遍较高，一般在 17.07%～21.44%之间，磷灰石的析出应具有相对较高的 CaO 浓度，CaO 为磷酸盐阴离子的沉淀剂。团结村北山超基性岩体的铁镁质比值（M/F）为 0.58～0.72，为富铁质超基性岩。岩体的分异指数（SI）为 34.82～48.55。

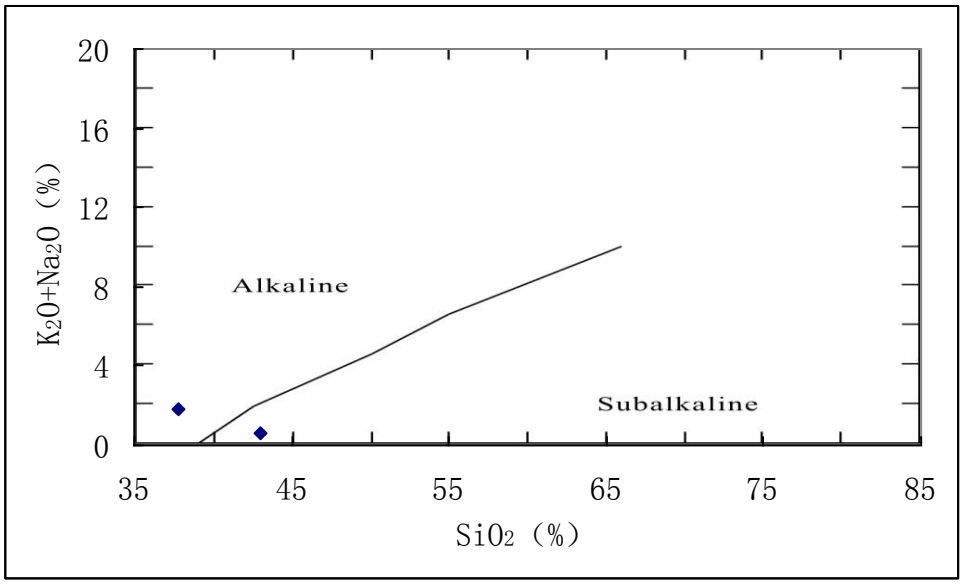



图 4.12 团结村北山杂岩体岩石 $SiO_2$—$K_2O+Na_2O$ 关系图

岩体碱质含量较高，$Na_2O$ 含量较高，$Na_2O>K_2O$。在 $SiO_2$-$K_2O+Na_2O$ 关系图上(图 4.12)，岩石的样品数据投影点落在碱性玄武岩和拉斑玄武岩的交界区处，杂岩体属钠质偏碱性岩系列。而矿化辉石岩分布在碱性玄武岩系列区。表明磷灰石的富集是在碱含量高的环境下有利。岩石中 $Al_2O_3/TiO_2$ 比值分布在 3.14～3.83，小于原始地慢(球粒陨石的 $Al_2O_3/TiO_2$=22)。说明该岩体的岩浆在侵入过程中具有染化作用。

表 4.10 团结村北山岩体岩石化学成分（%）

| 岩石名称 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | los | SI | M/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 辉石岩 | 37.78 | 1.39 | 5.32 | 9.25 | 8.14 | 0.19 | 10.24 | 17.07 | 1.08 | 0.7 | 1.7 | 0.21 | 34.82 | 0.58 |
| 透辉石岩 | 43.06 | 0.51 | 1.60 | 8.32 | 5.43 | 0.09 | 13.59 | 21.44 | 0.36 | 0.29 | 1.56 | 0.04 | 48.55 | 0.72 |

注：测试单位为中化地质矿山总局中心实验室

#### 4.3.6.2 微量元素特征

团结村北山岩体微量元素结果见表 4.11。从表中可以看出大离子亲石元素（LILE；Ba、Sr）含量较高，其中 Sr 的含量为（832～881）×$10^{-6}$，Ba 的含量为（252～691）×$10^{-6}$，远远高于其超基性岩中的背景含量。

高场强元素（HFSE；Zr、Ga）相对含量较低，岩体中 Zr 含量变化在 54.4～66.2×$10^{-6}$，Ga 的含量为 11.4～18.2×$10^{-6}$，稍高于背景值。

过渡族亲铁元素 V 变化范围为（193～444）×$10^{-6}$，Cr 的变化范围较大，为（30.9～298）×$10^{-6}$，Co 的含量为（43.1～75.1）×$10^{-6}$，Ni 的含量变化为（65.4～72）×$10^{-6}$。V 明显高于背景值，Cr、Co、Ni 的含量则明显偏低。

亲硫族造矿元素 Cu 含量为（196 ～2682）×$10^{-6}$，Pb 含量为（6.18～8.28）×$10^{-6}$，Zn 含量为（113～280）×$10^{-6}$，Sn 含量（1.06～1.52）×$10^{-6}$，Mo 含量为（1.21～19.3）×$10^{-6}$，Sb 含量为（0.046～0.68）×$10^{-6}$。 其中，Cu、Pb、Zn、Mo 含量明显高于其在超基性岩中的背景值。

团结村北山岩体微量元素总体特征是岩石中元素 Ba、Sr、Rb、Pb、Ga、V、Zr、Cu、Zn 含量较高，且高于维氏值（维诺格拉多夫，1962）。其中不相容元素明显富集，尤其是 Ba、Sr 和 LIL；岩石中元素 Cr、Co、Ni 等含量较低，且远低于维氏值，明显亏损相容元素。

表 4.11 团结村北山岩石的微量元素含量（$10^{-6}$）

| 岩石名称 | Sr | Ba | Sb | Pb | Sn | Ga | Cr | Ni |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 辉石岩 | 832 | 252 | 0.68 | 8.28 | 1.06 | 11.4 | 298 | 65.4 |
| 透辉石岩 | 881 | 691 | 0.046 | 6.18 | 1.52 | 18.2 | 30.9 | 72 |
| 岩石名称 | Mo | V | Zr | Cu | Zn | Co | As | |
| 辉石岩 | 19.3 | 193 | 54.4 | 2682 | 113 | 43.1 | 11.8 | |
| 透辉石岩 | 1.21 | 444 | 66.2 | 196 | 280 | 75.1 | 0.26 | |

注：测试单位为中化地质矿山总局中心实验室

#### 4.3.6.3 稀土元素特征

杂岩体岩石稀土元素分析见表 4.12，稀土元素总量ΣREE 为（32.3.75～517.05）×$10^{-6}$，稀土总量较高，LREE/HREE 值为 5.81～9.63，$(La/Sm)_N$为 2.12～4.41，$(Gd/Yb)_N$ 为 4.55～6.80，$(La/Yb)_N$为 18.22～47.54，$(Sm/Nd)_N$为 0.48～0.58。δEu 为 0.78～0.90，δCe 为 0.90～0.99。岩体轻度的 Eu 亏损，杂岩体经受了以斜长石为主要结晶相的分离结晶作用。δEu 值与碱性玄武岩（δEu=1.08）接近，说明杂岩体岩浆来源于地壳深部。

表 4.12 团结村北山岩石的稀土元素含量（$10^{-6}$）

| 岩石名称 | 辉石岩 | 透辉石岩 | 岩石名称 | 辉石岩 | 透辉石岩 |
|---|---|---|---|---|---|
| La | 112.00 | 4.80 | Lu | 0.26 | 0.29 |
| Ce | 206.00 | 116.00 | Y | 22.40 | 24.20 |
| Pr | 26.10 | 17.20 | ΣREE | 517.05 | 280.55 |
| Nd | 104.00 | 76.60 | LREE | 468.43 | 233.00 |
| Sm | 16.40 | 14.60 | HREE | 48.62 | 47.55 |
| Eu | 3.93 | 3.80 | LREE/HREE | 9.63 | 4.90 |
| Gd | 13.90 | 10.40 | δEu | 0.78 | 0.90 |
| Tb | 1.46 | 1.35 | δCe | 0.90 | 1.88 |
| Dy | 5.35 | 5.92 | $(La/Sm)_N$ | 4.41 | 0.21 |
| Ho | 0.82 | 0.94 | $(Gd/Yb)_N$ | 6.80 | 4.55 |
| Er | 2.48 | 2.26 | $(La/Yb)_N$ | 47.54 | 1.82 |
| Tm | 0.26 | 0.30 | $(Sm/Nd)_N$ | 0.48 | 0.58 |
| Yb | 1.69 | 1.89 | | | |

注：测试单位为中化地质矿山总局中心实验室

从岩石中稀土元素比值以及稀土配分模式图明显表明（4.13），轻稀土元素高度富集，稀土配分曲线为向右倾斜较平直的曲线。其中轻稀土、重稀土元素基本平坦，中稀土元素右倾斜。

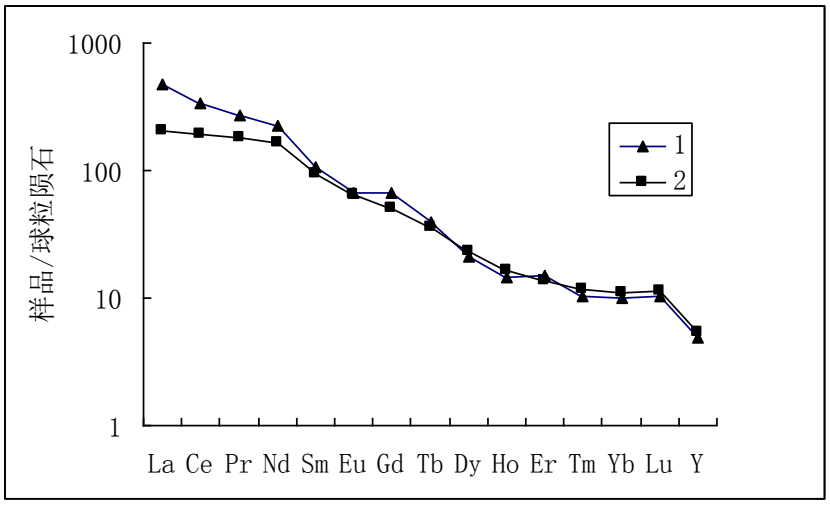



图 4.13 团结村北山岩体稀土元素分配模式

# 第 5 章 矿床成因与成矿模式

## 5.1 矿床成因及找矿标志

### 5.1.1 矿床成因

研究矿床成因是建立成矿模式的关键要素，探索矿床的成因主要是探讨矿床的成矿时代、期次，分析成矿时矿床所处的物理化学条件，确定成矿的物质来源，找寻成矿动力，还原成矿过程。同时对总结找矿标志也起到理论指导作用。

1）成矿时代及期次分析

矿床的成矿时代是研究矿床形成的重要工作，由于矿石矿物中的元素来源难以确定，受现今分析技术和方法的制约，分析数据的真实性和有效性很难保证，成矿绝对年龄的确定一直是矿床学研究的难点[54]。

前一章已对含矿岩体的地质、地球化学特征进行了详细的分析研究，根据研究的成果笔者对研究区内含矿岩体的成矿时代进行探索。研究区内含矿杂岩体明显受尉犁—兴地深大断裂控制，呈串株状近等距性分布在深大断裂南侧，次级断裂构造与深大断裂的交叉处。正是这种分布特征反映了同源岩浆在近东西向深大断裂诱导下，在次级断裂交汇部位发生岩浆侵位。杂岩体中主量元素 $SiO_2$ 含量较低，$K_2O$、$Na_2O$ 的含量普遍较高，属钠质偏碱性—基性超基性岩系列。相似的地质、地球化学特征显示各个含矿杂岩体为受大断裂控制的同源同期次的岩浆侵入产物。区内且干布拉克基性—超基性岩体的研究程度较高，前人[55]在研究该矿床成因是获得了的 Sm-Nd 等时线年龄为 802 士 52Ma，据此可推测，研究区内的岩浆岩型铁磷矿的成矿时代为晚元古代。

2）成矿物质来源

与矿化相关的基性—超基性岩在近东西向深大断裂诱导下，在次级断裂交汇部位发生岩浆侵位的特点，说明了杂岩体的同源特征[56]。

主量元素方面，研究区内含矿岩体中岩石大的 $Al_2O_3/TiO_2$ 比值分布在 1.43～10.25 范围内，小于原始地慢(球粒陨石的 $Al_2O_3/TiO_2$=22)。

微量元素方面[57-59]，研究区内含矿岩体明显富集大离子亲石元素(LILE)，即亲地壳元素 Ba、Sr、Rb 相对富集；高场强元素(HFSE)含量相对低，即亲地慢元素含量较低，表明物源以壳源为主，且混有幔源物质，在岩体的岩浆在侵入过程中具有染化作用。

稀土元素方面[60-64]，依据前人对岩浆岩型铁磷矿的研究成果，磷灰石矿的稀土元素特点能够反映含矿围岩及成矿原岩的稀土元素特征。研究区内岩浆岩型铁磷矿表现为稀土总量较高，轻稀土元素富集，稀土元素分布型式为的右倾分布特征，曲线较平直。对

比研究程度较高的瑞典北部 Kiruna 型铁矿床、宁芜玢岩铁矿床磷灰石稀土元素分布型式特征[65-66]，具有一致性，说明它们同为岩浆分异成因。含矿岩体的δEu 为 0.85～1.2，表明各杂岩体经受了以斜长石为主要结晶相的分离结晶作用。

研究区内各个杂岩体中不同岩石类型在微量元素、稀土元素地球化学特征等方面总体上的一致性和演化关系，表明研究区内杂岩体的岩浆很可能来自同一岩浆源区，其成岩过程基性—超基性岩岩浆的就地分离结晶有关，还可能与发生在深部的液态不混溶有关。

### 5.1.2 找矿标志

1）与尉犁—兴地大断裂交汇的次级断裂。

2）基性—超基性杂岩侵入体。

3）磁异常为间接找矿标志。

4）岩型铁磷矿，化探元素组合多表现为 Fe、P、Ti、REE 异常。

## 5.2 成矿模式

研究区内典型的岩浆岩型铁磷矿矿床位于塔里木地块北缘，陆缘活动带库鲁克塔格地块内，均受尉犁—兴地深大断裂控制。尉犁—兴地深大断裂主导了含矿岩浆的上升和运移，而分布在深大断裂旁侧或次级断裂构造控制了含矿杂岩体的侵位和赋存位置。矿体存在在基性—超基性杂岩体中。矿体产状与岩体产状基本一致，多呈似层状、透镜状分布。产状较平缓，近水平，矿体中有局部较富铁磷矿条带和团块。矿石类型主要为块状，其次为稀疏浸染状。矿石矿物矿物组合为磷灰石、磁铁矿。矿石的结构主要为粒状、海绵陨铁结构。总结以上地质特征，研究区铁磷矿为岩浆结晶分异作用的产物，矿床成因类型为岩浆岩型铁磷矿床。

岩浆形成初期即携带 P、Fe、Ti、V、REE 元素等成矿元素，且岩浆偏碱性。随着原始岩浆分异，形成富 Fe-P 的岩浆蒸气。磷灰石是富挥发份 F、Cl 和 OH 的矿物，前人研究发现，挥发组分在磷灰石中含量的变化能反映成矿流体的变化。随着岩浆的上升，围岩提供了 Ca、Cl 和 $H_2O$[67-68]，同时原始含矿岩浆混入了热液大气降水流体。随着岩浆与含矿不混熔岩浆不同序次的侵位或贯入，硅酸盐矿物首先结晶，硅质、铝质降低，磷灰石结晶[69-70]（图 5.1）。并出现了韵律现象，如大西沟铁磷矿。岩浆的多期次侵入使含矿岩体多均为杂岩体。

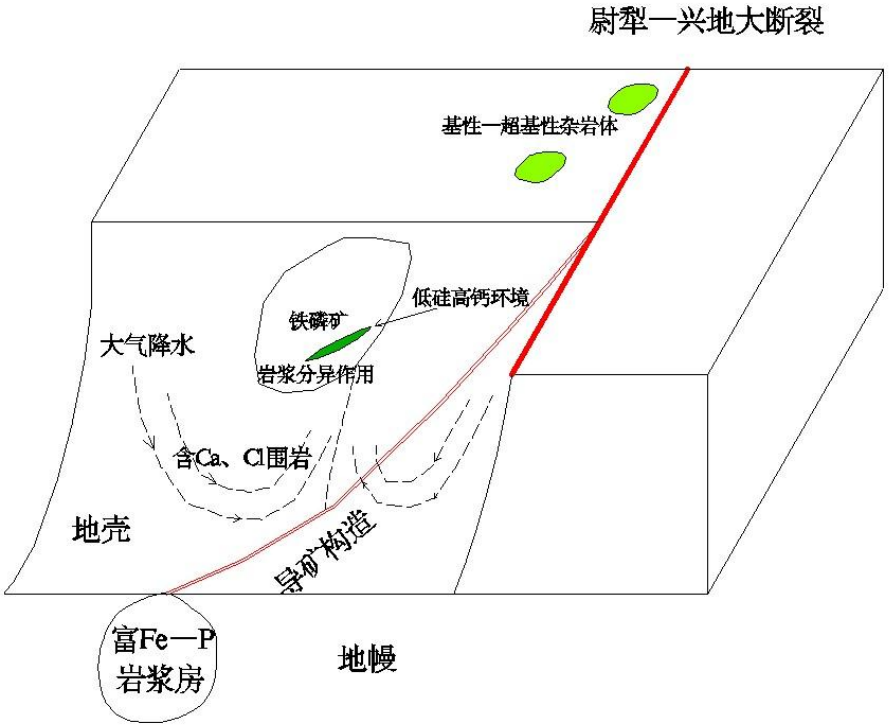



图 5.1 库鲁克塔格地区岩浆岩型铁磷矿成矿模式简图

# 第 6 章 地球化学特征研究意义

## 6.1 地球化学特征与成矿关系

由于磷灰石的含量与 $P_2O_5$ 含量呈正比，所以可以用 $P_2O_5$ 代替磷灰石研究含矿岩体的主量元素、微量元素、稀土元素与成矿的关系。

### 6.1.1 主量元素与成矿关系

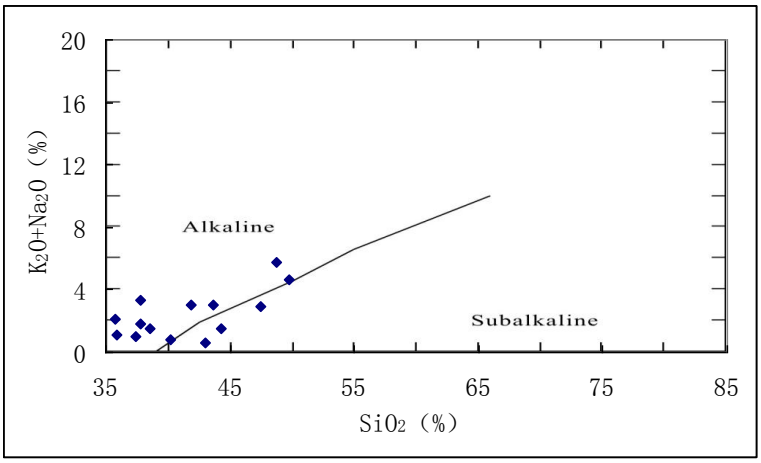



图 6.1 研究区内含矿岩体的硅—碱图

分析以上三个岩浆岩铁磷矿含矿岩体的主量元素含量，其中含磷灰石矿岩体的 $SiO_2$ 含量范围为 26.31%～37.78%，均为超基性岩，说明 $SiO_2$ 抑制了磷灰石的结晶。硅—碱图（6.1）则表明，含矿岩体投影大多落在碱性玄武岩区，岩石富含碱质。且各个岩体的 CaO 含量普遍较高，这些为含磷偏碱性超基性岩的主要特征。

将 $P_2O_5$ 与含矿岩体的各个氧化物做对比研究发现（图 6.2）。岩体中的 $P_2O_5$ 与 $SiO_2$、$Al_2O_3$、FeO、$K_2O$ 成负相关，其中与 $SiO_2$ 负相关性明显，表明 $P_2O_5$ 与上述氧化物的不和谐性。岩体中的 $P_2O_5$ 与 $TiO_2$、$Fe_2O_3$、CaO 呈正相关。

推测在偏碱性的玄武质岩浆中，$SiO_2$ 明显的不饱和，随着岩浆的分异，CaO 含量的相对增加，磷酸根离子更容易结晶成磷灰石，形成柱状、小团块状甚至带状矿体。

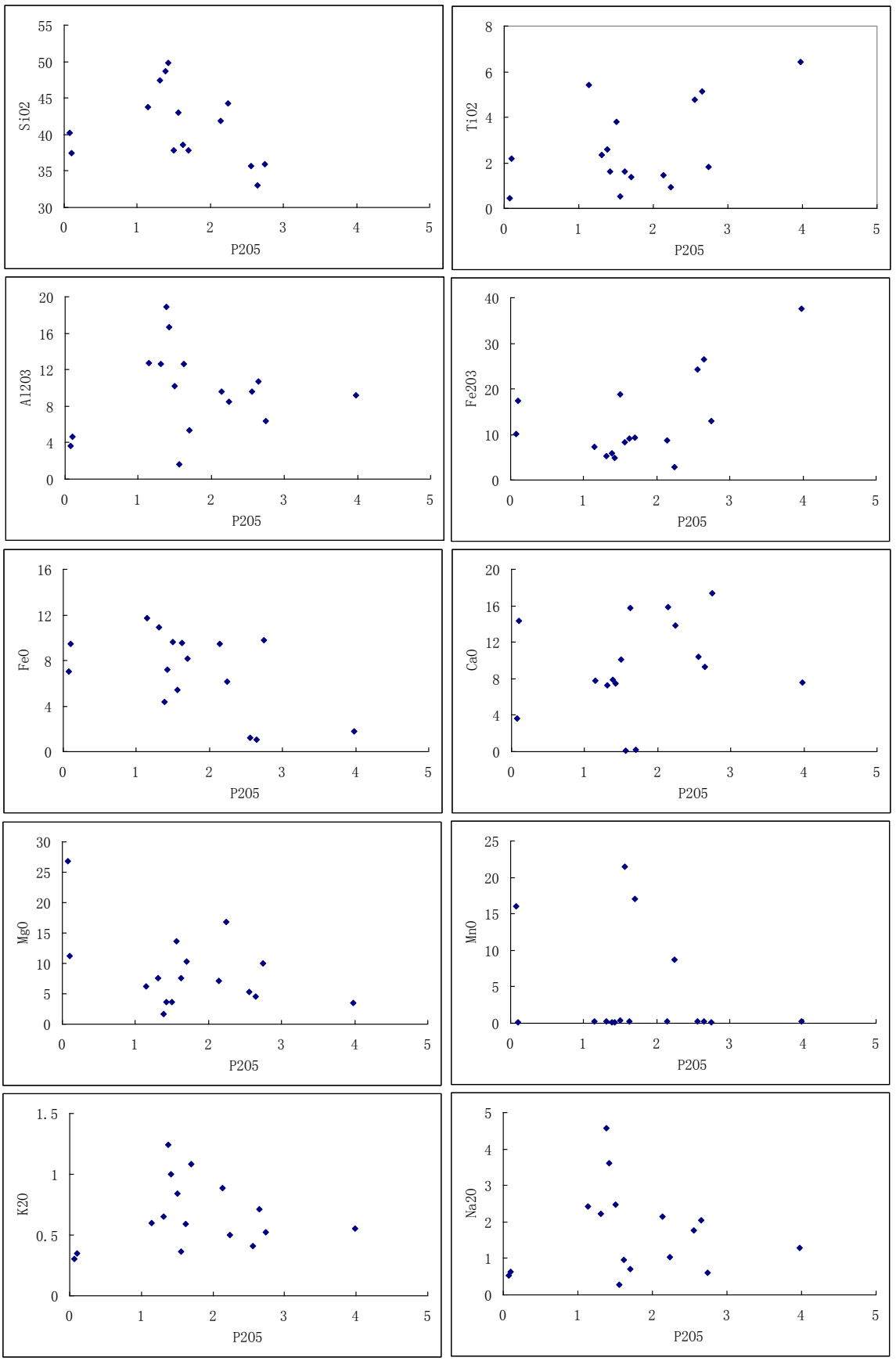



图 6.2 含矿岩体的各个氧化物与 $P_2O_5$ 的对比图

### 6.1.2 微量元素与成矿的关系

对比基性—超基性岩的维氏值，研究区内含矿岩体的微量元素特点表现为，不相容元素（Ba、Sr、Zr）明显富集，尤其是 Ba、Sr 和 LIL；岩石中元素 Cr、Co、Ni 等含量较低，且远低于维氏值，表明相容元素明显亏损。P 元素为不相容元素，研究区内含矿岩体的不相容元素富集，更说明了这一点，同时也表明了磷灰石是在岩浆体系侵入的晚期富集成矿的。

### 6.1.3 稀土元素与成矿关系

含矿岩体的稀土总量较高，LREE/HREE 值为 4.59～12.27，轻稀土元素富集。对比根据稀土元素化学分析和 $P_2O_5$ 分析结果，可以看出稀土元素含量与 $P_2O_5$ 含量关系密切，含磷基性—超基性杂岩体中磷与稀土元素呈正相关关系。

磷灰石是稀土完全任意配分型矿物，由于这个特殊晶体化学特征，磷灰石成为岩石中 REE 和 Sr 的主要携带矿物之一[71-72]。对比含矿岩体的稀土元素与 $P_2O_5$ 关系图（图 6.3）

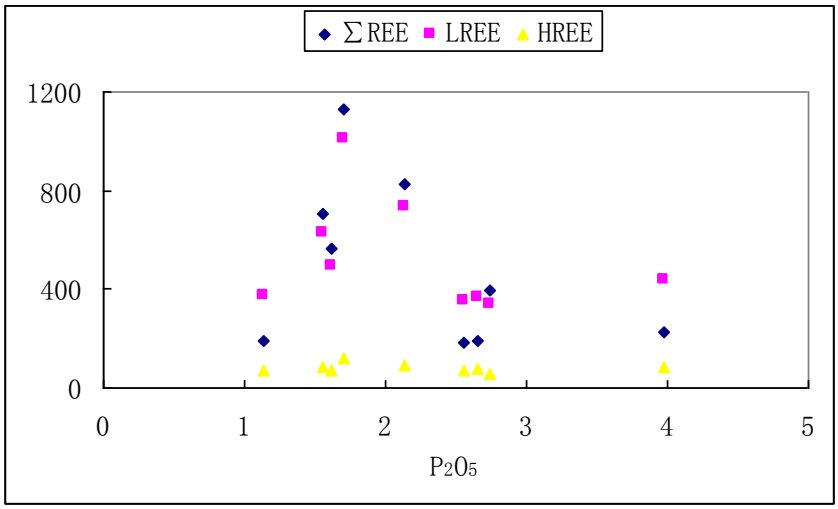



图 6.3 稀土元素与 $P_2O_5$ 关系图

我们发现，含矿岩体中磷灰石富集轻稀土，但不像独居石那样强烈选择轻稀土 LREE（属轻稀土强选择型配分矿物）；重稀土元素含量无明显变化，不像重稀土强选择型配分矿物磷钇矿那样强烈选择重稀土 HREE。此外，稀土总量及轻稀土在 $P_2O_5$ 含量在 2%左右出现峰值，磷灰石含量增加，稀土元素总量及轻稀土含量并未线性增加。表明稀土元素主要是选择钙离子丰富的矿物进行置换。

可以推测，岩浆体系在侵入的后期，虽然残余岩浆中富集 $PO_4^{3-}$、$Ca^{2+}$含量逐渐增加，甚至形成碳酸岩，稀土元素优先进入碳酸岩中。这与研究区内已发现的且干布拉克磷灰石—蛭石矿床中碳酸岩富集稀土元素这一事实吻合。

## 6.2 含矿性的判别

研究区内基性—超基性岩体具有明显的成矿专属性。通过对航空磁测的分析，推测研究区内应分布多处的半隐伏—隐伏岩体，通过 M/F 比值、固结指数（SI）、稀土元素分布特征与$P_2O_5$的关系，我们对库鲁克塔格地区典型岩浆岩型铁磷矿的含矿性进行探讨。

### 6.2.1 M/F 比值与成矿关系

铁镁比值（M/F）是由 Н.Д.索波列夫(Н.Д.Соболеь)于 1959 年提出，应用于研究基性，超基性岩的分类和含矿性。实践证明镁铁比值来在基性，超基性岩及含矿性研究方面有重要意义。

吴利仁[73]在研究中国基性，超基性岩成矿等属性时，注意了镍元素的作用，提出了与索波列夫稍有不同的镁铁比值公式：

具体计算公式为 $M/F=(Mg^{2+}+Ni^{2+})/(Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn^{2+})$

可将我国的超基性岩划分为如下三类，详见表 6.1

表 6.1 基性—超基性岩的铁镁比值及含矿性判别法（吴利仁，1963）

| 岩石 | M/F 比值（平均） | 矿化特征 |
|---|---|---|
| 镁质超基性岩 | 6.5～14 | 铬铁矿 |
| 铁质超基性岩 | 2～6.5 | 铜镍及铂族 |
| 富铁质超基性岩及铁质基性岩 | 0.5～2 | 无矿 |
| 富铁质基性岩 | <0.5 | 钒钛磁铁矿 |

根据研究区内岩体岩石化学组成，计算各个岩体的 M/F 比值（见表 6.2）。从结果可知，研究区内含矿岩体 M/F 比值为 0.34～0.71，小于 2，为富铁质超基性岩，铁质基性岩，典型矿床河北矾山超基性—基性钒钛磁铁矿—磷灰石矿床 M/F 比值为 0.70～2.13，非常接近。

表 6.2 研究区内含矿岩体的镁铁比值（M/F）及分异指数（SI）

| | 岩石名称 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | CaO | MgO | MnO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $P_2O_5$ | los | SI | M/F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 卡乌留克 | 含矿辉石岩 | 35.88 | 1.82 | 6.32 | 12.95 | 9.79 | 17.33 | 9.97 | 0.18 | 0.52 | 0.61 | 2.74 | 0.8 | 29.46 | 0.91 |
| | 角闪辉石岩 | 37.82 | 3.8 | 10.24 | 18.79 | 9.63 | 10.08 | 3.63 | 0.34 | 0.84 | 2.47 | 1.5 | 0.48 | 10.27 | 0.37 |
| | 辉石岩 | 38.54 | 1.63 | 12.61 | 9.12 | 9.54 | 15.72 | 7.65 | 0.25 | 0.59 | 0.96 | 1.62 | 0.7 | 27.46 | 0.85 |
| | 辉石岩 | 41.88 | 1.44 | 9.59 | 8.67 | 9.44 | 15.81 | 7.05 | 0.27 | 0.89 | 2.15 | 2.14 | 0.48 | 25.00 | 0.80 |
| | 含矿角闪石岩 | 37.44 | 2.17 | 4.64 | 17.29 | 9.42 | 14.36 | 11.15 | 0.16 | 0.35 | 0.62 | 0.1 | 1.14 | 28.71 | 0.88 |
| 大西沟 | 矿化斜长岩 | 33.06 | 5.15 | 10.68 | 26.47 | 1.09 | 9.25 | 4.58 | 0.19 | 0.71 | 2.05 | 2.65 | 3.5 | 13.12 | 0.51 |
| | 斜长岩 | 47.47 | 2.34 | 12.61 | 5.3 | 10.89 | 7.29 | 7.6 | 0.22 | 0.65 | 2.23 | 1.31 | 1.18 | 28.50 | 0.99 |
| | 矿化斜长岩 | 35.7 | 4.75 | 9.57 | 24.17 | 1.2 | 10.38 | 5.35 | 0.2 | 0.41 | 1.76 | 2.56 | 5.46 | 16.27 | 0.60 |
| | 斜长岩 | 48.74 | 2.6 | 18.84 | 5.94 | 4.33 | 7.87 | 1.69 | 0.09 | 1.24 | 4.56 | 1.38 | 1.42 | 9.52 | 0.55 |
| | 斜长岩 | 49.8 | 1.63 | 16.7 | 4.77 | 7.18 | 7.51 | 3.68 | 0.14 | 1 | 3.6 | 1.42 | 0.92 | 18.19 | 0.70 |
| | 矿化斜长岩 | 26.31 | 6.42 | 9.21 | 37.66 | 1.81 | 7.56 | 3.48 | 0.22 | 0.55 | 1.29 | 3.98 | 5.06 | 7.77 | 0.34 |
| | 辉石斜长岩 | 43.71 | 5.42 | 12.77 | 7.36 | 11.69 | 7.78 | 6.24 | 0.21 | 0.6 | 2.43 | 1.14 | 0.33 | 22.03 | 0.87 |
| | 二辉橄榄岩 | 40.19 | 0.45 | 3.64 | 10.09 | 7.06 | 3.62 | 26.81 | 16.04 | 0.3 | 0.53 | 0.07 | 0.83 | 59.86 | 1.50 |
| | 辉石岩 | 44.23 | 0.92 | 8.47 | 2.9 | 6.16 | 13.85 | 16.85 | 8.76 | 0.5 | 1.04 | 2.24 | 1.54 | 61.38 | 1.76 |
| 团结村北山 | 辉石岩 | 37.78 | 1.39 | 5.32 | 9.25 | 8.14 | 0.19 | 10.24 | 17.07 | 1.08 | 0.7 | 1.7 | 0.21 | 34.82 | 0.58 |
| | 透辉石岩 | 43.06 | 0.51 | 1.6 | 8.32 | 5.43 | 0.09 | 13.59 | 21.44 | 0.36 | 0.29 | 1.56 | 0.04 | 48.55 | 0.72 |
| 河北矾山 | 辉石岩 | 35 | 2.51 | 4.78 | 13.7 | 9.56 | 0.23 | 8.72 | 19.37 | 1.06 | 0.67 | 3.05 | 1.78 | 25.87 | 0.43 |
| | 黑云母辉石岩 | 35.53 | 1.75 | 5.88 | 6.86 | 6.94 | 0.15 | 11.03 | 20.34 | 2.31 | 0.58 | 5.05 | 1.37 | 39.79 | 0.63 |
| | 正长黑云母辉石岩 | 37.99 | 2.67 | 9.15 | 4.9 | 6.68 | 0.2 | 12.01 | 15.07 | 4.67 | 0.57 | 4.15 | 2.33 | 41.66 | 0.91 |
| | 正长辉石岩 | 43.52 | 1.61 | 11.93 | 5.34 | 5.65 | 0.16 | 6.81 | 13.92 | 6.03 | 0.86 | 1.75 | 2.41 | 27.58 | 0.56 |
| | 钛榴石辉石正长岩 | 37.85 | 5.42 | 10.38 | 8.98 | 6.71 | 0.25 | 3.14 | 17.05 | 6.71 | 1.01 | 0.4 | 2.22 | 11.83 | 0.33 |
| | 正长岩 | 51.82 | 1.16 | 16.26 | 3.73 | 4 | 0.15 | 3.89 | 5.68 | 7.42 | 2.89 | 0.58 | 2.48 | 17.74 | 0.61 |

### 6.2.2 固结指数与成矿关系

固结指数也可称为凝固指数或硬化指数，由日本学者久野等于 1957 年提出，研究认为任何岩浆的分异都是向贫 MgO 方向演化，而且 MgO 的变化比 $SiO_2$ 更显著。认为研究玄武岩浆演化用固结指数比用 $SiO_2$ 更好些。固结指数用下式表示：

$\{SI\}\%=100w(MgO)/(w(MgO)+w(FeO)+w(Fe_2O_3)+w(Na_2O)+w(K_2O))$。

不同类型岩浆岩的固结指数详见表 6.3

表 6.3 不同类型火山岩的固结指数

| 岩浆类型 | 玄武岩 | 玄武安山岩 | 安山岩 | 安山英安岩 |
|---|---|---|---|---|
| SI | 30～40 | 20～30 | 10～20 | 0～10 |

根据表 6.3 可知，原生玄武岩浆的固结指数为 30～40,其中岩浆的分异程度差,SI 值就大,岩浆的分异程度高,SI 值就小。

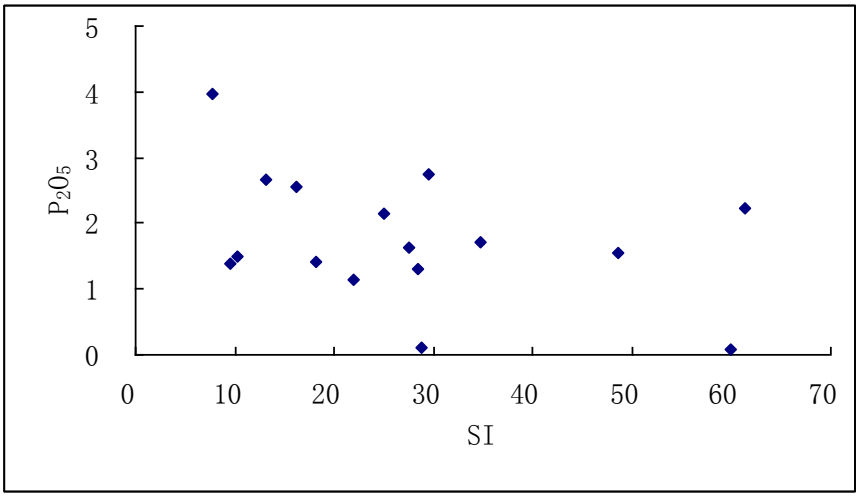



图 6.4 含矿岩体的固结指数（SI）与 $P_2O_5$ 含量的关系图

$P_2O_5$ 含量与含矿岩体的固结指数（SI）大致呈负相关关系（图 6.4）。从表 6.2 中我们可知道，研究区含矿岩体的岩石固结指数为 7.77～34.82，小于 40，说明岩浆的分异程度较高，结晶分异作用明显。研究区内基性—超基性岩的原生岩浆在侵入的过程中，早期阶段岩浆分异，磷灰石首先从岩浆中结晶出来，较均匀的分散在含矿岩体中。随着岩浆的冷凝，熔体中的 $SiO_2$ 依旧不饱和，并含有充足的 $Ca^{2+}$。在富含 $PO_3^{4-}$、Fl、Cl 挥发分的作用下，含矿残余熔浆在相对贫 $SiO_2$ 的环境中慢慢结晶成矿，形成含量较高，矿物结晶粗大的团块、囊状及似层状磷灰石矿体。

河北矾山[74]岩体的固结指数为 25.87～41.66。研究区内的含矿岩体与河北矾山杂岩体近似。

# 第 7 章 结论及存在的问题

## 7.1 结论

本文在详细研究库鲁克塔格地区的区域成矿地质背景及其演化，重点研究基性—超基性杂岩体地质，地球化学特征，在全面收集区内典型矿床(点)的地质、磁法、勘探资料的基础上，以区域成矿学、岩浆成矿理论为指导，以构造—岩浆—成矿作用为主线，对区内典型矿床进行深入剖析和系统研究，主要取得了以下新的认识和进展：

1）研究区内含矿杂岩体为基性—超基性，富铁质，属偏碱性岩玄武岩系列。杂岩体的分布明显受尉犁—兴地大断裂控制，多侵位于次级断裂与大断裂的交汇部位。岩体磁异常明显，基本与大断裂南侧正值区的高值异常范围吻合。杂岩体多为不同类型岩石组成，反映了岩体是由岩浆多期次的侵入形成。其中，含矿岩石类型主要有辉石岩、斜长岩等。

2）研究区内三个典型矿床为卡乌留克塔格、大西沟、团结村北山铁磷矿，均为岩浆岩型，矿体为层状、似层状、透镜状，产状平缓，矿体延伸稳定。矿石类型主要为块状磁铁矿磷灰石矿、浸染状磁铁矿磷灰石矿，也有磁铁矿和磷灰石单独成矿。矿石矿物为磁铁矿、磷灰石。矿石化学分析显示，钒、钛以及稀土元素可综合利用。矿体与围岩均没有明显的界线，呈过渡关系。

3）含矿岩体具有低硅高碱的特点，$SiO_2$ 含量的降低，有利于磷灰石的结晶。矿体与围岩的微量元素，稀土元素特点基本相同，反映了两者同源的特点，表明了矿体是由含矿熔浆经岩浆分异作用形成。含矿岩体的微量元素特征显示大离子亲石元素 K、Ba、Sr 强烈富集，岩石中元素 Cr、Co、Ni 等含量相对较低；稀土元素特征表现为轻稀土元素富集，无 Eu 或弱的负 Eu 异常。说明含矿岩体是地壳物质和地慢岩的深部混合作用的产物。

4）研究区内尉犁—兴地深大断裂主导了含矿岩浆的上升和运移，而分布在深大断裂旁侧或次级断裂构造控制了含矿杂岩体的侵位和赋存位置。对比世界岩浆岩型瑞典北部的 Kiruna 型铁磷矿床，区内三个典型矿床的稀土元素组成及分布型式与其接近。属于岩浆—侵入成因。成矿过程大致为，富 Fe-P 的岩浆蒸气原始岩浆经深大断裂上升，萃取了地壳岩层中的 Ca、Cl 和 $H_2O$，在热液大气降水流体的参与下，含矿不混熔岩浆不同序次的侵位或贯入。在岩浆分异的成矿作用下，硅酸盐矿物首先结晶，硅质、铝质降低，磷灰石结晶析出。建立了深大断裂—富铁磷的岩浆—岩浆分异作用的成矿模式。

5）通过研究区内典型岩浆岩型铁磷矿的地质、磁法、地球化学特征，提出了找矿标志：a.与尉犁—兴地大断裂交汇的次级断裂；b.基性—超基性杂岩侵入体；c.磁异常

为间接找矿标志；d.化探元素组合多表现为Fe、P、Ti、REE异常。

6）通过研究典型矿床的地球化学特征与成矿关系，岩体中的$P_2O_5$与$SiO_2$、$Al_2O_3$、FeO、$K_2O$成负相关，其中与$SiO_2$负相关性明显，表明$P_2O_5$与上述氧化物的不和谐性。岩体中的$P_2O_5$与$TiO_2$、$Fe_2O_3$、CaO呈正相关。含矿基性—超基性杂岩体中稀土元素含量与$P_2O_5$含量关系密切，呈正相关关系。

7）对比河北矾山铁磷矿典型矿床，提出M/F比值，分异指数（SI）对含矿性的判别。其中，研究区内含矿岩体的铁镁比值（M/F）为0.34～0.71，小于2，为富铁质超基性岩，铁质基性岩。$P_2O_5$含量与含矿岩体的固结指数（SI）大致呈负相关关系，固结指数（SI）7.77～34.82，小于40。提出M/F比值，分异指数（SI）与河北矾山铁磷矿近似，可推测研究区内杂岩体具有良好的铁磷矿找矿前景。

## 7.2 主要创新点

1）通过对含矿岩体的地质、地球化学（主量元素、微量元素、稀土元素）特征研究，探讨了岩浆岩型铁磷矿的成因，并建立了成矿模式，编辑成矿模式图。

2）首次提出，当M/F比值0.5～2时，富铁质超基性岩及铁质基性岩不是前人研究总结的无矿，而是岩浆岩型铁磷矿的有利成矿原岩。

3）探索以M/F比值，固结指数（SI）等作为对基性—超基性岩体的含矿性进行判别。

## 7.3 存在的问题

由于本人知识水平有限，很多深层次的知识尚不能深刻认识。另外，一些测试分析数据还不是很充分，如同位素分析数据。在讨论成矿时代以及探讨壳幔混源的特征时候，显得未有充足的证据进行合理解释，期望能在以后的工作中更全面的研究该区的成矿物质来源。

# 参考文献

[1] 韩豫川，夏学惠. 中国磷矿床. 北京：地质 出版社，2012.

[2] 涂光炽，主编. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律[M]. 北京：科学出版社，1992.

[3] 傅洪涛. 河北矾山环状钾质碱性杂岩体的岩性特征及岩类归属初探[J].矿物岩石，1983，3(1)：66～69.

[4] 江培谟. 河北矾山磷铁矿床含矿岩石平衡的计算及其地质意义[J]. 地质学报，1980，4：275～283.

[5] 江培谟. 河北矾山铁磷矿床含矿岩体韵律层结构的成因[J]. 地质学报，1985，59(1)：33～35.

[6] 陈国耀. 尉犁蛙石矿床的地质特征及成因探讨(J). 新疆地质，1987，7(1):1～14.

[7] 殷宝祥. 新疆尉犁县且干布拉克蛙石矿床成因及矿床成因模式探讨〔J〕.新疆地质，1992:10(1):6～22.

[8] 陈毓川,盛继福,艾永德. 梅山铁矿——一个矿浆热液矿床[J]. 中国地质科学院院报矿床地质研究所所刊，1981，2(1)：26～48.

[9] 翟裕生,姚书振,林新多,等. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社，1992.

[10] 余金杰，毛景文. 宁芜玢岩铁矿磷灰石的稀土元素特征[J]. 矿床地质,2002，21 (1): 66～73.

[11] 牟保磊，蔡俊军，边振辉. 矾山碱性岩体磷铁矿床金的地球化学[J]. 岩石矿物学杂志，1998，17(04)：359～360.

[12] 蔡俊军，吴淑华，曾凡刚，曾贻善. 矾山杂岩体中磷灰石组成特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志，2001，20（02）:156～161.

[13] Paster T P, Schauwecker D S and Haskin L A. The behavior of some trace elements during solidification of the Skaergaard layered series[J]. Geochim. Cosrnochim. Acta，1974，38: 1549～1577.

[14] Schock HH. Trace element partitioning between phenocrysts of plagioclase, pyroxenes and magnetite and the host pyroclastic matrix[J]. Radioanal. Chem，1977，38: 327～340.

[15] Appel P W U. Rare earth elements in the early Archaean lsuairon-formation, west Greenland[J]. Precambrian Res，1983，20: 243～258.

[16] Treloar P J, Colley H. Variations in F and Cl contents in apatites from magnetite-apatite ores in northern Chile, and theirore-genetic implications[J]. Mine Magz, 1996, 60: 285～301.

[17] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区地质志. 北京：地质出版社，1993.

[18] 蔡士赐，等. 新疆岩石地层. 北京：中国地质大学出版社，2008.

[19] 冯本智，周裕文新. 疆库鲁克塔格地区铜镍,金,铅锌,金刚石等成矿条件及远景评价研究[J]. 地质科技通报，1998，9(01)：7～14.

[20] 东野脉兴，杨更生，朱红军. 内生磷矿成矿规律及预测准则[J]. 化工矿产地质，1997，19(1)：6～10.

[21] 东野脉兴,杨更生,朱红军. 塔里木一中朝准地台北部内生磷矿成矿带研究[J]. 化工矿产地质，2003，25(4)：193～205.

[22] 夏学惠，袁家忠，郗国庆，等. 新疆大西沟杂岩体地球化学及铁磷矿床特征[J]. 吉林大学学报. 地球科学版，2010，40(4)：879～885.

[23] 夏学惠，袁家忠，郗国庆，等. 新疆团结村北山塔格铁磷矿床地质及综合利用前景[J]. 矿产综合利用，2009，(增刊)，60～64.
[24] 夏学惠，谭云基，袁家忠，等. 新疆库鲁克塔格地区铁磷矿成矿条件及找矿预测[J]. 化工矿产地质，2008，30（2）：91～98.
[25] 夏学惠，袁家忠，郗国庆，等. 塔里木地台北缘内生磷矿预测及资源远景评价[J]. 化工矿产地质，2009，31（3）：129～158.
[26] 夏学惠，郗国庆，袁家忠，梁中朋. 新疆卡乌留克塔格铁磷矿地质及地球化学研究[J]. 化工矿产地质，2011，33（04）:193～200.
[27] 夏学惠，谭云基，杨辉艳等. 新疆天山成矿带铁磷矿地质及成矿专属性[J]. 中国地质，2012，349（02）:486～496.
[28] 夏学惠，连卫. 中国北方内生磷矿资源分布特征及潜力[J]. 武汉工程大学学报，2011，33（3）：81～86.
[29] 黄汲清. 中国主要地质构造单位(曾莫休和龚素玉翻译). 北京:地质出版社，1954，1～168.
[30] 黄汲清，任纪舜，姜春发，等. 中国大地构造基本轮廓. 地质学报，1977，(2):117～135.
[31] 任纪舜，姜春发，张正坤，等. 中国大地构造及其演化. 北京:科学出版社，1980，1～124.
[32] 陈哲夫. 库鲁克塔格地质发展简史及地质构造的基本特征[J]. 地质论评，1966，24（03）：171～182.
[33] 陆松年. 新疆库鲁克塔格元古宙地质演化[J]. 地矿部天津地质矿产研究所所刊，1992，23(2)：26～27.
[34] 刘正宏，周裕文. 论塔里木地台北缘中元古宙兴地运动[J]. 矿物岩石，1993，23(2)：133～138.
[35] 段吉业，夏德馨，安素兰. 新疆库鲁克塔格新元古代—早古生代裂陷槽深水沉积与沉积-构造古地理[J]. 地质学报，2005，3(01)：7～14.
[36] 展新忠，郭瑞清，张晓帆，等. 新疆库鲁克塔格新元古代火山岩地质—地球化学特征及构造意义[J]. 新疆地质，2010，3(01)：5～15.
[37] 曹晓峰，吕新彪等. 新疆库鲁克塔格前寒武纪地块岩浆热事件及构造演化[J]. 新疆地质. 2012，30（04）：385～391.
[38] 孙晓猛，王璞珺，刘鹏举，郝福江. 兴地断裂构造特征及其演化历史[J]. 新疆地质，2006，7（04）:348～352.
[39] 李相然. 塔里木盆地北缘兴地断裂构造变形特征[J]. 新疆地质. 1994，3(03) ：213～218.
[40] 李相然. 塔里木盆地北缘兴地断裂地质特征及与成矿的关系[J]. 地质与勘探. 1995，31（05）：23～27.
[41] 翟裕生，邓军，李晓波，等. 区域成矿学[M]. 北京：地质出版社，1999.
[42] 陈毓川，主编. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京：地质出版社，1999.
[43] 冯本智，周裕文，等. 新疆库鲁克塔格地区前震旦纪地质与贵重、有色金属矿床[M]. 北京：地质出版社，1993.
[44] 王述平. 基性、超基性岩浆的成矿作用及其有关矿床成因与构造分类[J]. 地质学报. 1962(02)
[45] 洛长义，杨合群，朱宝清，罗玉鹏，张开春. 论新疆兴地基性超基性杂岩分带性[J]. 西北地质科学，1998，19(01)：52～58.
[46] 中国新疆库鲁克塔格—星星峡地区金、银和铜矿地质及预测[M]. 北京:地质出版社，2008.
[47] 倪志耀，卫管一. 新疆东部基性超基性岩的地质地球化学特征[J] . 矿物岩石. 1995，15(01)：8～14.
[48] 姜常义，等. 新疆克拉通镁铁质岩体群的岩石成因研究. 岩石学报，2009,25（4）：749～764.
[49] 张招崇,等. 新疆克拉通基性杂岩体的地球化学特征及其对矿床成因的约束. 岩石矿物学杂志. 2003，22（3）：217～224.

[50] 杨合群，洛长义，朱宝清等. 新疆兴地含铜镍基性超基性侵入体地质特征及成矿条件[J]. 西北地质科学，1997，18(02)：43～53.

[51] 夏昭德,等. 新疆库鲁克塔格地区兴地Ⅰ号镁铁—超镁铁质岩体的地球化学特征与岩石成因[J]. 岩石学报，2009，25（4）：805～816.

[52] 张志诚，郭召杰，刘树又. 新疆库鲁克塔格地区基性岩墙群的形成时代及其大地构造意义，地质学报（英文版）1998，1(72)：93～94.

[53] 孙宝生，黄建华. 新疆且干布拉克超基性岩-碳酸岩杂岩体Sm-Nd同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报，2007，3（07）:1611～1616.

[54] 毛景文，张作衡，余金杰等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示. 中国科学(D 辑)，2003，33(4):289～299.

[55] 周可法，孙宝生，王金林，等. 新疆大型蛭石矿床综合成矿模式及找矿指示意义[J]. 广西师范大学学报(自然科学版)，2012，30（01）：115～124.

[56] 裴荣富.中国特大型矿床成矿偏在性和成矿构造聚敛场[M]. 北京：地质出版社，1998.

刘羽，贺英侠. 某些不同成因类型磷灰石矿物学特征[J]. 矿物学报. 1992(04)

夏学惠. 北方若干内生磷矿磷灰石的标型特征及研究意义[J].化工地质，1985，（3）：45～53.

[57] 南京大学地质学系编.地球化学[M]. 北京：科学出版社，1979.

[58] 涂光炽. 地球化学[M]. 海:上海出版社,1984.

[59] 赵振华等. 微量元素地球化学原理[M]. 北京：科学出版社，1997.

[60] 郭承基. 稀土地球化学演化[M]. 贵州:贵州出版社,1985,4.

[61] 赵振华. 稀土元素地球化学研究方法[J]. 地质地球化学. 1982(01)

[62] 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(01)

[63] 王中刚，于学元，赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京：科学出版社，1989.

[64] 李闫华，鄢云飞，谭俊，李飞. 稀土元素在矿床学研究中的应用[J]. 地质找矿论丛. 2007，88(04)：294～298.

[65] 赵振华. 副矿物微量元素地球化学特征在成岩成矿作用研究中的应用[J]. 地学前缘, 2010, 17（1）：267～287.

[66] 刘锋，杨富全，李延河，等. 新疆阿勒泰市阿巴宫铁矿磷灰石微量和稀土元素特征及矿床成因探讨. 矿床地质. 2009，28 (3): 251～264.

[67] Frietsch R and Perdahl J A. 1995. Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types[J]. Ore Geol. Rev., 9: 489～510.

[68] Frietsch R, Tuisku P, Martinsson O, et al. 1997. Early Proterozoic Cu-(Au) and Fe ore deposits associated with regional Na-Cl metasoma-tism in northern Fennoscandia[J]. Ore Geol. Rev., 12: 1～34.

[69] 唐勇，张辉，刘丛强，饶冰. 过铝质岩浆—热液演化体系中磷的地球化学行为[J]. 岩石矿物学杂志，2008，27（02）：127～134.

[70] 唐勇，张辉，刘丛强，饶冰. 富 P 过铝质岩浆体系的研究现状及存在的问题[J]. 矿物学报，2008，28（01）：35～42.

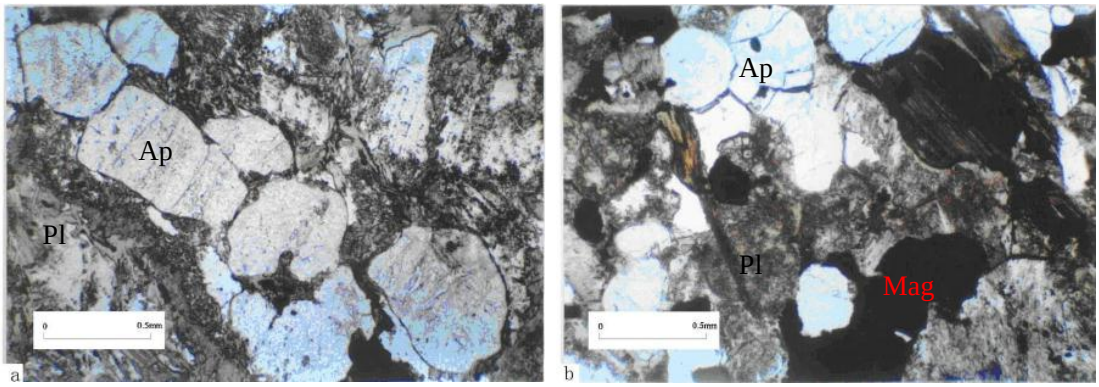
[71] Mathez E, Webster J. Partitioning behavior of chlorine and fluorine in the system apatite-silicate melt-fluid[J]. Geochim Cosmochim Acta, 2005, 69(5): 1275～1286.

[72] Jeremy W. Boyce, Richard L. Hervig. Apatite as a monitor of late-stage magmatic processes at Volcán Irazú, Costa Rica[J] ,2009

[73] 吴利仁. 论中国基性岩、超基性岩的成矿专属性[J]. 地质科学, 1963，2(1):29～41.

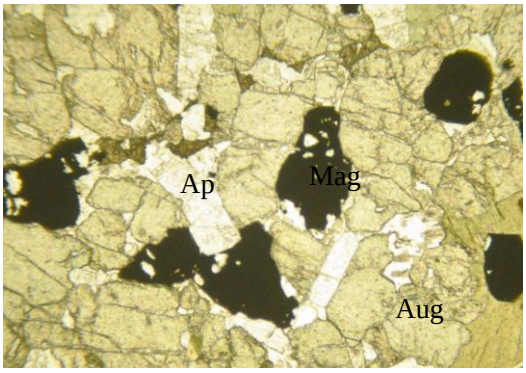
[74] 牟保磊，江培谟，等. 矾山杂岩体磷铁矿床[M]. 北京:北京大学出版社, 1988.

# 附录

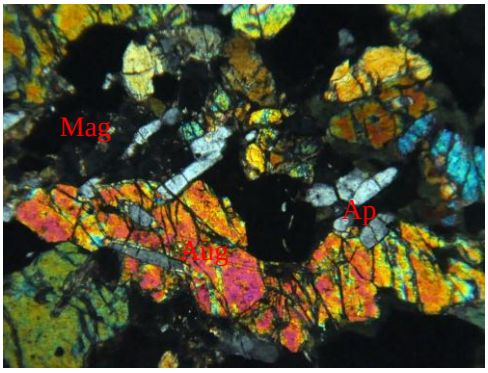



照片01 大西沟岩体斜长岩结构特征

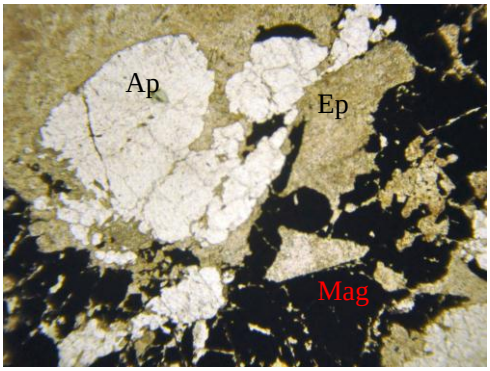
a. 蚀变斜长岩，磷灰石（白色）呈短柱状不均匀分布；b. 蚀变斜长岩，磁铁矿（黑色），磷灰石（白色）粒状



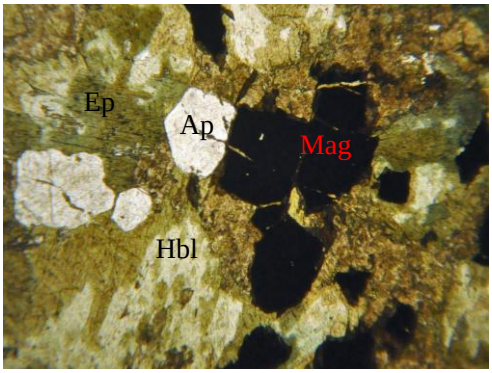

照片 02 磁铁矿化含磷辉石岩，磁铁矿（黑色）呈它形粒状，磷灰石（白色）为自形晶柱状，分布于辉石岩中。 单偏光 10×4



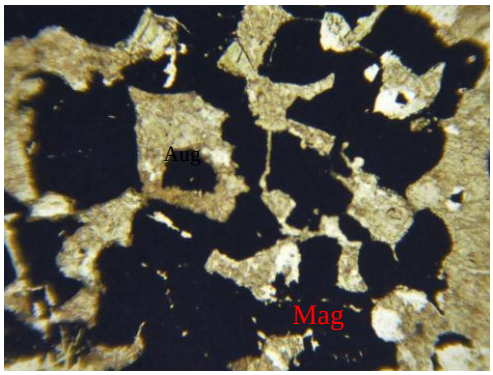

照片 03 由辉石、角闪石、磁铁矿和磷灰石组成的磁铁矿化含磷辉石岩，磁铁矿（黑色）呈它形粒状，磷灰石（灰白色）为自形晶柱状，分布于辉石岩中。正交偏光 10×4



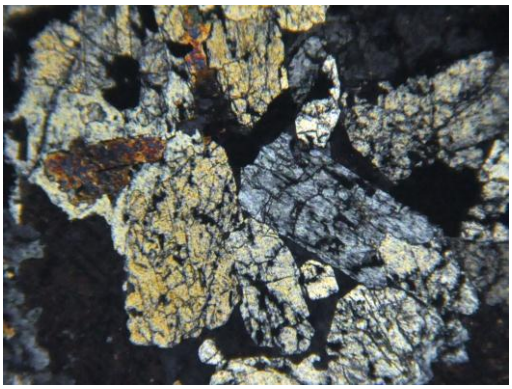

照片 04 磷矿化磁铁矿化角闪岩，角闪石多绿帘石化，磷灰石（白色）呈粒状集合体，粒径 0.1～1mm，磁铁矿（黑色）呈它形粒状或粒状集合体沿裂隙浸染分布。单偏光 10×4



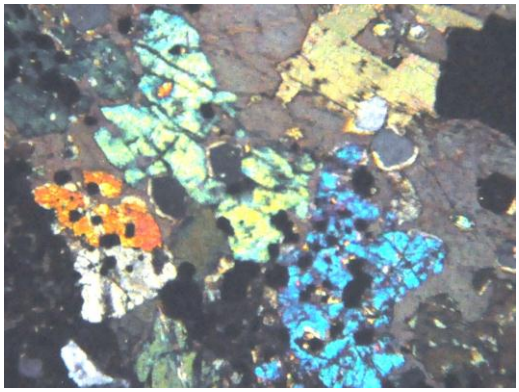

照片 05 磷矿化磁铁矿化角闪岩，磷灰石（白色）呈半自形粒状，磁铁矿（黑色）它形粒状或粒状集合体。正交偏光 10×4




照片 06　磁铁矿化辉石岩，磁铁矿成它形粒状分布于辉石岩中，形成海绵陨铁结构，磁铁矿粒径 0.2-0.6mm。



照片 07 由辉石、角闪石、磁铁矿组成的磁铁矿化辉石岩。



照片 08 含磷辉石岩，磁铁矿（黑色）呈它形粒状，磷灰石（灰白色）为自形晶柱状或粒状。

# 个人简历，申请学位期间的研究成果及发表的学术论文

## 发表的论文

1）李春阳，罗先熔，刘秀娟，董艳秋，黄学强，吴颖慧 ．综合物化探法在内蒙阿旗巴润金矿区寻找隐伏矿床的应用. 黄金科学技术，2011，04。
2）黄蔚阁，罗先熔，黄学强， 董艳秋，李春阳. 黑龙江八里房矿区地电化学法寻找隐伏金矿床的研究. 2012，01。
3）董艳秋，罗先熔，李春阳，侯冬梅，黄学强，黄蔚阁. 地电化学集成技术在青海多彩玛冻土带的找矿应用研究. 2012，02。

## 参加的项目

1）2010 年 7 月-2010 年 12 月，在中化地质矿山总局地质研究院，参加《全国优质化工矿产资源评价》项目。
2）2010 年 10 月-2011 年 3 月，在桂林理工大学，参加《内蒙古阿巴嘎旗巴润金矿普查》项目。
3）2011 年 7 月-2012 年 3 月，在华北地质勘查局，参加《非洲几内亚永贝里铁矿勘探》项目。
4）2012 年 7 月-2012 年 12 月，在内蒙有色地质勘查局四队，参加《内蒙古科右前旗大石寨铜金多金属矿普查》项目。

# 致谢

三年的研究生学习生活转瞬即逝，在论文完成之际，对所有帮助过我的老师、同学、朋友和亲人表示最衷心的感谢和最真诚的祝福！

深深地感谢我的导师罗先熔教授，在硕士学习期间，对我悉心地关怀和帮助，不仅在学业上给我指点方向，传授学科前沿知识，更是以严谨的治学作风，认真负责的工作态度，积极务实的人生观和人格修养深深地影响着我，使我终生受益匪浅。在三年的时间里，罗老师不仅亲自言传身教，同时也给我们提供了大量的学习锻炼的机会，让我们的理论知识和实践得以很好的结合。

感谢我的中化地质矿山总局地质研究总院院长熊先孝，以及《全国优质化工矿产资源评价》项目的项目组成员薛天星，田升平，牛桂芝，郗国庆，张亮等人的给予的支持和无私赐教。

感谢中化地质矿山总局中心实验室为我论文样品的测试工作提供的大力帮助，在此谨对上述单位致以诚挚的谢意！

感谢我同们师兄李艳伟、师姐刘秀娟、同学董艳秋、徐沛斌、黄蔚阁、李文龙、李新城、黄学强、师弟赵征、李世铸、师妹姚岚等对我在校期间生活、学习上的无私关心和帮助，这种兄弟和同学的情谊将是我一生的宝贵财富。

最后，还要特别感谢我的妻子吴颖慧，儿子李昊航，正是由于她(他)们无微不至的理解、关爱，默默的付出和鼓励，才使我能够完成学业，我所有的工作有她(他)们付出的一半辛劳。