

内蒙古花敖包特花岗岩构造环境与动力学背景分析

康 蓉, 皮桥辉

桂林理工大学, 广西 桂林

收稿日期: 2022年3月1日; 录用日期: 2022年4月22日; 发布日期: 2022年4月29日

摘 要

花敖包特铅锌银矿床位于大兴安岭西乌珠穆沁旗地区, 属于大兴安岭的南部的西坡褶皱带, 紧邻松辽盆地。该地区的构造环境主要是古亚洲构造与环太平洋构造的迅速转换和激烈叠加形成, 这就使得这一地区成矿的条件非常好, 构造环境十分优越。在晚侏罗世至早白垩世成矿的花敖包特矿区主要是以银矿、铅矿、锌矿为主, 产状基本为脉状。研究内蒙古花敖包特矿床花岗岩构造环境与动力学背景分析, 对于评价内蒙古银铅锌矿床的潜力, 以及认识内蒙古境内矿床的形成、演化的地球动力学环境均具有重要意义。

关键词

花敖包特, 构造环境, 动力学背景, 花岗岩

Tectonic Environment and Dynamics Background Analysis of Huaaobaote Granite in Inner Mongolia

Rong Kang, Qiaohui Pi

Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Mar. 1st, 2022; accepted: Apr. 22nd, 2022; published: Apr. 29th, 2022

Abstract

The geographical position of Huaaobaote lead-zinc-silver deposit is in the Xiwuzhumuqi Banner area of Daxing'anling, which belongs to the western slope fold belt in the south of Daxing'anling,

and is adjacent to the Songliao Basin. The tectonic setting of the area is mainly the rapid transformation and intense superposition of the paleo-Asian structure and the Pacific Rim structure, which makes the mineralization conditions in this area very good and the tectonic environment is very superior. The Huaaobaote mining area in the Late Jurassic to Early Cretaceous mineralization is mainly composed of silver ore, lead ore and zinc ore, and the occurrence is basically vein-like. The study of the tectonic environment and dynamic background of the Huaaobaote deposit in Inner Mongolia is of great significance for evaluating the potential of the Inner Mongolia silver-lead-zinc deposit and understanding the geodynamic environment of the formation and evolution of the deposits in Inner Mongolia.

Keywords

Huaaobaote, Tectonic Setting, Dynamic Background, Granite

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

花岗岩是地球表层分布最广的岩石, 国内外专家对于花岗岩的研究极其重视和关注, 尤其是对花岗岩的地球化学特征及意义、源岩、构造环境与动力学背景分析。过去部分学者认为花岗岩的研究主要集中于花岗岩的成因类型分类及其形成的构造背景的讨论。这些工作以花岗岩的全岩地球化学特征为基础, 并在此基础上提出了花岗岩的 I、S、M、A 分类以及碰撞、洋基、火山弧、板内花岗岩的形成背景。在 21 世纪初的十年间, 得益于锆石原位分析技术手段的运用, 花岗岩的研究在花岗岩浆的起源、形成的物理化学过程、结晶和分异、时空演变等方面获得空前的进步[1]。另一部分学者认为, 花岗岩的研究主要体现在以下几个方面: 地球早期花岗岩与大陆的形成和演化、源区的不均一性与不平衡熔融、岩浆成分变化的同位素示踪、壳幔岩浆混合与花岗岩的形成、地壳热模式与中酸性的形成、花岗岩体的生长和结晶时间、非传统同位素在花岗岩成因和演化中的应用[2]。近年来, 有的学者认为花岗岩的研究呈现出以下两个新的趋势和方向。第一, 通过花岗岩中副矿物研究揭示其成因和岩浆作用过程信息。第二, 揭示花岗岩形成过程所记录的大陆地壳的分异和演化信息[3]。通常认为, 花岗岩与大地构造环境之间存在密切的联系, 花岗岩产出的构造环境或其出露的构造位置在讨论其成因方面具有重要的意义, 利用地球化学标志可以判别花岗岩形成的大地构造环境。目前, 对内蒙古花敖包特花岗岩的构造环境与动力学背景尚不清楚, 是内蒙古地区成矿规律中的薄弱环节之一, 对找矿工作是一个巨大的挑战。本文在分析了构造环境对花岗岩形成过程的控制作用基础上, 着重以花敖包特岩体为例, 说明如何通过花岗岩特征和形成过程的综合研究, 判别其形成的构造环境, 以为该区成矿过程和成矿预测提供进一步研究的基础。

2. 地质概况

2.1. 区域地质背景

在内蒙古自治区西乌珠穆沁北东方向约 150 公里处是花敖包特银铅锌矿床的大体位置, 该矿床主要以生产银、铅、锌为主。在特定的区域成矿构造背景下, 西伯利亚板块和华北板块经历了太古宙 - 中生

代-新生代带漫长的演化历史[3]。区域内出露的地层有古生界二叠系下统格根敖包组, 寿山沟组, 中统大石寨组, 中生界侏罗系上统满克头博组、玛尼吐组及白音高老组, 白垩系下统大磨拐河组, 新近系中新统汉诺坝组及第四系。东北地区扭转断裂, 该地区主体结构的北、西走向是该地区的主要控制因素, 该地区的主要断裂为梅洛深裂。区域内的岩浆侵入岩侵入的时期是华力西期和燕山期, 华力西期岩体为基性超基性岩, 而且多数是以块体拼合构造带发育, 大多数被认为是小型蛇绿岩残片的构造侵位[4]。燕山期的特点是大规模中酸性岩浆侵入, 与现代陆相火山系列形成了同源、同时、非均质的火山侵入杂岩。二叠纪中基性火山岩和燕山期中酸性火山侵入杂岩与成矿关系最密切, 其次为海西花岗质侵入岩。区域内的主要矿产有铬、铁、锡、钨、多金属、煤、蛇纹石等, 矿产资源十分丰富。如近年来发现的著名的白音华煤矿、霍林郭勒煤矿、白仁大巴银矿、道伦大巴铜钨矿等。该带的“锡林热微板”蕴藏着丰富的煤炭资源[5]。

2.2. 矿床特征

在矿床中, 许多火山活动和次火山活动使之前形成的梅劳特断层复活。在断裂带及断裂带两侧形成一系列北西、北东、近南北向的断裂。在矿区内以第二矿区为中心, 形成一系列圆形和放射状断裂。这些裂缝为矿液液的移动和储存提供了空间和通道, 在矿区的西北方向[6]。

矿床中的岩浆岩主要为华力西晚期的超基性岩和燕山期的岩株。岩墙和岩脉[7]。矿床内主要岩浆岩有: 华力西晚期超基性岩侵入体, 该侵入体内的岩石遭受强烈蚀变, 岩石呈灰绿色, 风化面为灰绿色, 主要岩性为蛇纹石, 恢复的原岩属单斜辉石, 燕山期晚期中性酸性侵入体。燕山期晚期斜长花岗岩主要分布在矿区南东侧, 呈岩株状产出, 花岗斑岩分布在矿区范围内, 呈岩株、岩锥状产出, 受北西、北东向断裂控制; 脉岩: 包括次流纹岩脉, 花岗斑岩以及闪长玢岩脉等[8]。

矿床的形成有四个基本条件: 第一岩浆岩提供成矿源和热源, 主要代表为酸性次火山岩; 第二是为矿液运移提供了通道和储集空间的围岩中的断层和裂隙、与岩体接触的断裂带和爆破角砾岩带; 第三是矿流体阻挡层, 主要由蛇纹岩和寿山沟组砂板岩构成。第四, 上叠合断裂不整合圈闭构造的上侏罗统火山碎屑岩盖层与下部构造层[9]。

2.3. 矿体特征

矿体赋存在北西、北东和近北南向构造断裂带, 矿体往往伴随着不同性质的角砾岩和亚流体岩体的分布。以块状、细脉浸染状矿石为主。矿体的总体方向是北东向, 北西向, 近南北走向。倾角 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$, 矿体厚度一般为十至数十米。矿体形态单一, 呈透镜体, 脉状。矿体主要产于下二叠统寿山沟组西断裂带, 受附近逆冲断层和张性断裂控制[10]。

在花敖包特矿区发现的 45 个银铅锌多金属矿中, 最大的矿体是一号矿体和二号矿体。 I_1 矿体以柱状、囊状产出, 走向为 59° , 倾向为南东, 倾角 $58^{\circ}\sim 68^{\circ}$ 度, 倾向延伸 330 m, 厚度 $7.47\leq 55.16$ m, 平均 25.562 m。以分支矿脉发育为主。矿体是上部富矿, 以铅锌为主。下部贫矿, 以硫、砷为主。由浅部向深部厚度变薄, 矿体形成的地方是在华力西晚期的蛇纹岩与下二叠统寿山沟组变质砂岩的接触带上。(图 1) 矿体以充填方式沉积在外接触区。 II_2 矿体产状为脉状, 走向约为北西 325° , 赋存与下二叠统寿山沟组变质砂岩中, 南端下部与 I_1 矿体相连, 长 450 m, 厚 0.69~60.09 m, 平均厚度 13.78 m, 由浅部到深部厚度逐渐变薄[9]。

3. 构造环境

虽然对花岗岩的研究热点依旧是它的构造环境和形成花岗岩的不同种类, 但是随着研究的不断推进

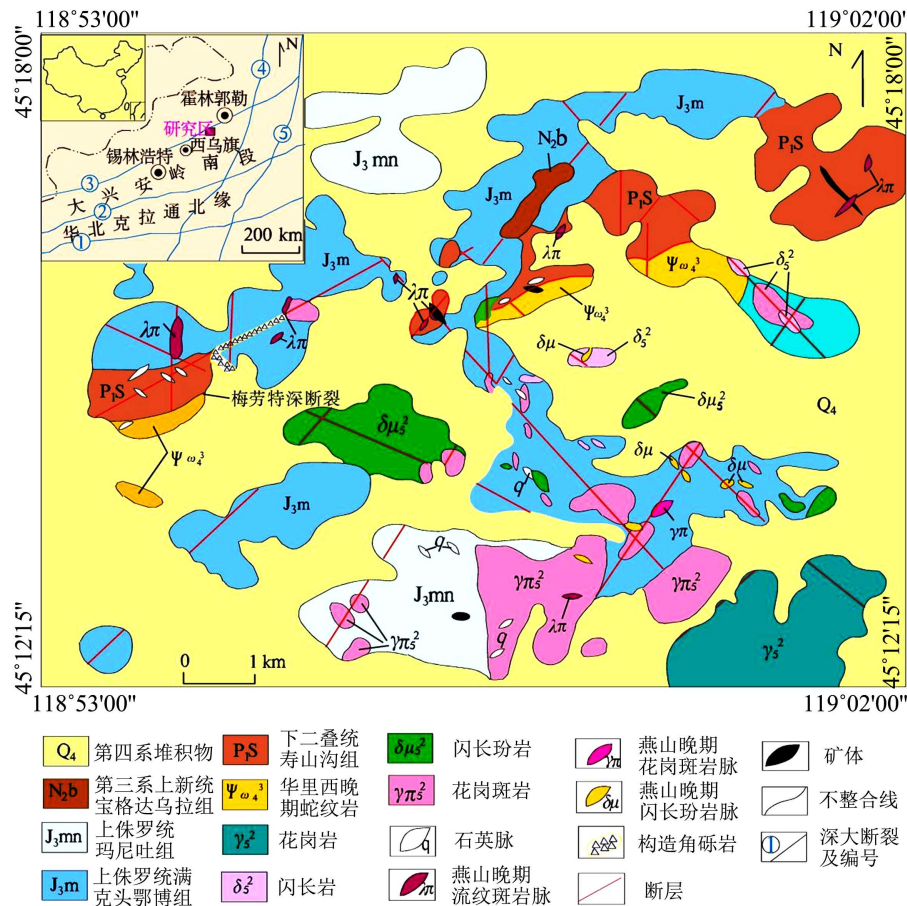


Figure 1. Geological sketch map of Huaobaote area
图 1. 花敖包特地区地质简图

我们的关注重点逐渐转移到构造环境中软流圈和地幔中的岩浆, 在其不断进入到地壳中与其中先前的岩石重新发生熔融结晶最后形成花岗岩[10]。花岗岩不是由单纯的一种地质活动所形成的, 它是由各种地质活动下所形成的, 但是, 在这些地质活动中, 最主要的地质活动是地壳和地幔相互作用导致软流圈或岩石圈的热输入[11]。这样的话, 我们可以总结出花岗岩形成的主要原因可以分为以下几种, 第一个就是充分考虑地幔对其成因的影响, 第二是不断演化的岩石圈的圈层结构, 第三是软流圈的变化以及对其产生的岩浆的影响等等几个方面。我们可以将各种因素相互联系, 进而建造一个相互关联的花岗岩成因体系, 才能追索花岗岩形成时的构造环境[12]。

影响花岗岩成因的不仅有花岗岩物质来源这一个方面。物理作用和化学作用对花岗岩的形成也会产生比较大的影响。挥发性, 降压和温度的升高就是在物理和化学方面对岩石的熔融、冷凝、结晶过程进行影响[13]。岩浆活动主要发生在俯冲带是因为挥发性物质的加入使得岩石的熔点降低。但是根据之前的研究发现, 花岗岩中岩浆的水并不是饱和的。因此, 挥发性可能并不是花岗岩形成的最主要的控制因素。从而我们可以将花岗岩形成的控制因素的视角转换到降低压力和升高温度[14]。当岩石受到强烈的挤压时, 在岩石的内部结构中, 岩石内部环境是一种升压状态, 在这种情况下, 岩浆活动几乎不会出现。但是如果从拉张的情况下我们来讨论的话, 情况却恰恰相反, 当岩石受到剧烈的拉张时, 在岩石内部压力会降低, 这种情况下岩石的熔融会很容易。于此同时, 随着地壳的不断拉伸会伴随地壳的厚度的越来越薄, 最终将导致深部软流圈内的岩浆上涌和来自地幔的岩浆的底侵现象出现, 加快了地壳熔融的速度。大多

数花岗岩主要产生拉张作用下。花岗岩的形成几乎不能在挤压的环境下形成。有时我们也可以在俯冲带中看见花岗岩, 但是可以确定的是, 它并不是与挤压环境有关, 而是与上方的拉张和底侵现象有直接原因[15]。

花岗岩根据构造环境的不同大致有以下几个种类: 1) 岛弧型花岗岩; 2) 大陆碰撞型花岗岩; 3) 大陆岛弧型花岗岩; 4) 大洋斜长型花岗岩; 5) 大陆裂谷型花岗岩; 6) 陆壳隆升型花岗岩; 7) 后造山型花岗岩。其中前4种属于造山花岗岩, 后3种属于非造山花岗岩[16]。内蒙古花敖包特矿床花岗岩样品, 在Hf-Rb-Ta判断图解上(图2), 我们可以在图中看出所有样品全分布在碰撞型花岗岩区域, 样品落在碰撞大地构造背景上的花岗岩, 由此可以得出内蒙古花敖包特花岗岩形成的构造环境属于大陆与大陆碰撞的结果。

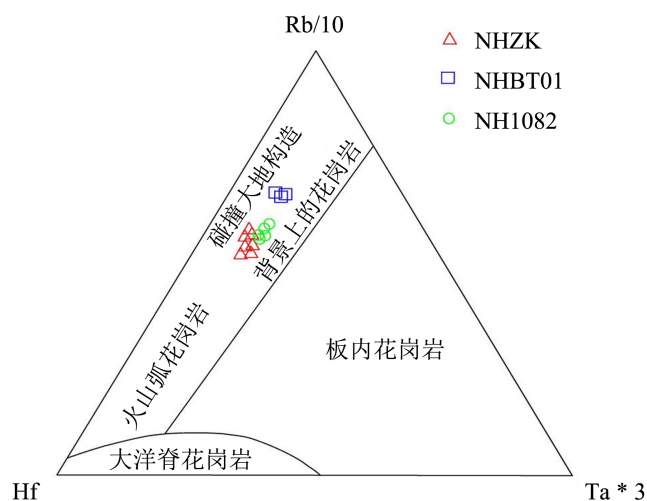


Figure 2. Rb/30-Hf-Ta*3 discriminant diagram of Huaaobaote granite in Inner Mongolia
图 2. 内蒙古花敖包特花岗岩 Rb/30-Hf-Ta*3 图解

用宏观的地质构造角度来看, 松辽板块, 西伯利亚板块和华北板块的交界处恰好是花敖包特花岗岩的所在地, 同时也称此地为隶属于中亚——蒙古地槽褶皱区的华西褶皱带。花敖包特花岗岩是环太平洋多金属矿的一部分[17]。(图3)

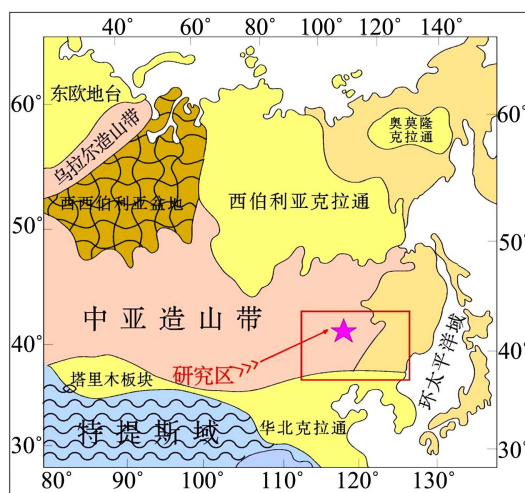


Figure 3. The tectonic location of Huaaobaote granite in Inner Mongolia
图 3. 内蒙古花敖包特地区构造位置图

在燕山期, 华力西后期由于地质构造的作用形成了花敖包特矿床。在华力西后期, 由于矿区受到来自近南北方向的强烈的挤压力, 形成了方向变化的两组共轭剪切断裂带。后来, 随着边界环境的不断变化, 挤压的方向又随之变化, 使早期的剪切断裂带的方向转变。当地壳表面受到强烈的拉张力之后, 就会出现断裂带, 而这些断裂带正好给软流圈深部涌出的超基性岩浆提供了通道, 沿着这些通道岩浆不断侵入, 最终形成我们现在可以看到的长达数百公里的带状蛇纹岩。例如, 在下二叠统寿山沟组地层的岩浆岩中, 我们可以清楚的观察到个别蛇纹石渗透在变质砂岩。构造破碎带的形成是由于外接触带的变质岩相对较脆弱, 较容易发生节理构造, 就是由于这个破碎带的存在才给岩浆提供了进入的渠道[18]。

由于在燕山期后期受到东西方向上的挤压力作用, 形成了大致南北方向上的断层泥化带。于是新的断裂带就形成了并叠加在北西方向和北东方向的断裂带上。燕山期后期出现的火山活动和矿液填充所需要的通道就是由这些断裂带提供的, 最终形成了各种各样的混杂岩和火山角砾岩。在南北向的次一级张剪性断裂带内存在亚流纹岩, 这些亚流纹岩是岩石矿化的基础。当这些成矿亚流纹岩沿着断裂带侵入时, 在该区的北南向又发生火山作用使得成矿亚流纹岩形成火山角砾岩, 火山作用发生之后, 亚流纹岩附近的裂隙中充填含矿溶液, 最终形成银铅锌矿体[19]。

由此可以得出, 因为该矿区的应力场沿一定的方向不断地活动, 导致一系列断裂带的出现, 所以这些断裂带的出现为岩浆活动、火山活动以及地壳中的矿液储存提供了场所和通道。一些成矿元素正好全部集中在该区域地层上, 受到强烈的变质作用和升温作用使得这些元素快速活动和迁移[20]。此时, 矿区次生山脉也相继活跃, 形成的火山碎屑岩和火山熔岩分布在次生矿区周围[21]。与此同时, 剧烈的火山活动又一次扩大了早期形成的断裂带, 数以万计不同方向的断裂带不仅成为含矿液体的通道而且为矿体的赋存提供了地方。在一定的情况下, 火山作用发生之后形成的酸性次火山岩发生隐爆作用, 产生一种隐爆构造, 隐爆作用使岩石的空隙增大, 使得矿石液体的沉淀和富集更加有利。在断裂构造发生的集中区域, 往往会形成规模巨大的囊状矿体[22]。

花敖包特矿区经历了三个主要的构造发展阶段: 大陆基底、古亚洲洋大陆边缘的扩散和滨西太平洋大陆边缘活跃大陆块段的起伏, 这使得该地区的矿物有了充足的来源和有利的条件来进行各种富集, 形成了有色、贵金属成矿最佳环境[23]。

4. 地球动力学背景

有学者曾对花敖包特的地球动力学背景做了一些研究, 根据相关矿床研究发现, 海底热液喷流堆积成矿是花敖包特的主要成因类型。判定依据有以下几点:

1) 通过研究花敖包特区的次火山相流纹斑岩的岩石学、矿物学、结晶学的特点, 并结合相关的地球化学资料和数据, 可以确定花敖包特矿区的次火山相流纹斑岩主要以热液沉积为主, 由此我们可以确定该区的成矿类型与二叠纪盆地演化的海底热液喷射沉积成矿期相同[24]。

2) 矿床内层状矿体的结构可以分为上层和下层。上层与下层有着明显的区别。上层岩石的颜色为白色, 被大家认为是一种侵位的次流纹岩, 可能是侏罗纪时期火山活动形成的物质, 这种物质含 SiO_2 , 也是典型的热水沉积岩。下层为板岩[25]。

部分学者认为, 主要下二叠纪的铜山沟壑地层产生了该区多金属矿化作用。矿体常赋存于西北、东北、南北向构造断裂带, 矿体受到断裂构造的脉状严格地控制[26]。矿区还发育一些酸性岩脉如: 流纹岩、花岗质岩脉等。研究结果显示, 矿区地层中已积累了一定的成矿元素, 通过区域变质和暖化作用, 促进了元素的活化和迁移, 为成矿热液的形成提供了通道, 并为断裂活动中的矿体提供了赋存空间[27]。酸性次火山岩的侵入是含矿热液的热源和成矿元素的主要载体。因此, 花敖包特矿床的工业类型作为一个整体是脉冲状银、铅和锌的多金属矿床。中低温热液矿床是他的矿床成因类型。

另外还有一部分学者认为, 矿床严格受断层和裂隙发育程度的控制。断层的拉扭或裂隙的大小、产状、形态及力学性质与矿体的产状密切相关。断层是成矿的有利通道和良好的赋矿场所[28]。主要的花敖包特条断裂带是一系列向西北、东南走向的断裂带, 具有较好的含矿性, 矿体充填物。根据以上所述, 花敖包特银铅锌矿床应属于中低温裂隙充填热液矿床。

结果表明, 银铅锌矿床受燕山后期次火山侵入杂岩(流纹岩斑岩、花岗斑岩、闪长斑岩等)和断层构造的控制[29]。从矿体在原岩中存在的状态可以看出, 华力西晚期矿体主要赋存于下二叠统寿山沟组地层及蛇纹石中, 靠近燕山晚期次玄武岩内外接触带。矿体以矿脉为主, 与断裂方向一致。成矿期明显晚于周围岩石。属于成矿矿物, 具有典型的热液矿床特征。寿山沟组主要成矿元素背景含量高于大陆地壳, 具有很大的成矿潜力。推测寿山沟组的形成为成矿提供了部分成矿物质。认为成矿硫来源于大气水和岩浆水的混合, 并与以前对矿区的研究成果相结合。

除此之外, 对矿床成因也进行了探讨。首先, 在中生代时期, 当大气降水流入到地下时刚好受到燕山晚期时候的火山杂岩的加热。加热的大气降水与次火山侵入岩提供的岩浆水混合, 然后沿断层带向上移动[30]。寿山沟地层为矿化提供了一定的矿源, 在混合流体沿断层间隙向上移动的过程中, 当混合的流体流入寿山沟组, 并与地层发生反应, 从而在地层中提取出金属元素, 形成含有矿元素的热液流体[31]。目前, 人们普遍认为中低温水热银铅锌矿床中含有银、铅、锌等元素, 这些元素以氯化物配合物的形式存在。含矿热液流体沿着裂缝空隙运移, 在中低温度、中-深浅等条件适宜的构造部位聚集沉淀, 从而形成中低温、中深浅热液脉状银铅锌矿床[32]。

5. 结论

1) 根据内蒙古花敖包特矿床花岗岩样品在 Hf-Rb-Ta 微量元素判别图解上, 所有样品全部展现在碰撞型花岗岩区域上, 说明内蒙古花敖包特花岗岩产生于碰撞的构造环境。

2) 内蒙古花敖包特岩体花岗岩形成是由于华力西时期形成的近东西方向的剧烈碰撞, 当碰撞结束之后, 应力作用的方向发生转化, 导致断裂带成为张扭性断裂带, 同时使得超基性岩浆侵入到断裂带中, 形成超基性岩。在燕山期的时候, 强烈的火山喷发再次唤醒了早期断裂带, 形成东北方向压缩扭转的断裂。主要的热源和流体运动的动力来源于燕山晚期次火山的剧烈活动, 侵入杂岩的侵入和热液活动。

参考文献

- [1] 徐夕生, 贺振宇. 花岗岩研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(3): 205-209.
- [2] 王孝磊. 花岗岩研究的若干新进展与主要科学问题[J]. 岩石学报, 2017, 33(5): 1445-1458.
- [3] 温定军. 中天山星星峡地区晚古生代花岗岩的成因和构造意义[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2019.
- [4] 李振祥, 谢振玉, 刘召, 李淑果. 内蒙古西乌珠穆沁旗花敖包特银铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. 地质与资源, 2008, 17(4): 279-281.
- [5] 张凤林, 谢振玉. 内蒙古花敖包特银铅锌矿床成矿特征研究与物化探勘查进展[J]. 工程地球物理学报, 2010, 7(2): 220-225.
- [6] 陈永清, 周顶, 郭令芬. 内蒙古花敖包特铅锌银多金属矿床成因探讨: 流体包裹体及硫、铅、氢、氧同位素证据[J]. 吉林大学学报, 2014, 44(5): 1478-1491.
- [7] 李政, 谢玉玲, 王硕, 等. 花敖包特铅锌银矿物组成及成因矿物学初步研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(1): 301-302.
- [8] 郭令芬, 周顶, 陈永清. 内蒙古花敖包特银铅锌多金属矿床地球化学及流体包裹体特征[C]//中国地质学会. 2009 全国数学地球科学与地学信息学术会议论文集. 中国地质学会数学地质与地学地学信息专业委员会, 2010: 48-58.
- [9] 郭令芬. 内蒙古花敖包特银铅锌多金属矿床容矿岩石地球化学特征[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2011,

- 27(6): 85-88.
- [10] 陈永清, 卢映祥, 赵红娟, 等. 滇西腾冲地块小场钼矿化花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年、地球化学及其构造意义[J]. 地质前缘, 2013, 20(5): 1-14.
- [11] 陈伟, 李应栩, 王硕. 敖包特银多金属矿床地质及成矿流体特征[J]. 有色金属(矿山部分), 2008, 60(5): 32-36.
- [12] 何付兵, 徐吉祥, 谷晓丹. 内蒙古东乌珠穆沁旗阿木古楞复式花岗岩体时代、成因及地质意义[J]. 地质论评, 2013, 59(6): 1150-1164.
- [13] 范玉须, 李廷栋, 肖庆辉, 程杨. 内蒙古西乌珠穆沁旗晚二叠世花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质评论, 2019, 65(1): 248-265.
- [14] Yang, Y.N., Li, Q.L., Liu, Y., et al. (2014) Zircon U-Pb Dating by Secondary Ion Mass Spectrometry. *Earth Science Frontiers*, **21**, 81-92. (In China)
- [15] Li, X.H., Tang, G.Q., Gong, B., et al. (2013) Qinghu Zircon: A Working Reference for Microbeam Analysis of U-Pb Age and Hf and O Isotopes. *Chinese Science Bulletin*, **58**, 4647-4654. <https://doi.org/10.1007/s11434-013-5932-x>
- [16] 苏茂荣, 李英雷, 刘汇川. 中亚造山带东段古元古代结晶基底: 来自中蒙边境花岗岩和沉积地层的证据[J]. 中国地质, 2020, 47(4): 548-597.
- [17] 赵胜金, 朴丽丽, 宓奎峰, 等. 敖包特银铅锌矿隐爆角砾岩-次流纹岩特征[J]. 现代矿业, 2015, 10(10): 137-143.
- [18] 杜青松. 内蒙古西乌旗敖包特 1038 高地铅锌矿床成因探讨[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(2): 60-61.
- [19] 邵积东. 内蒙古大地构造分区及其特征[J]. 内蒙古地质, 1998(2): 1-13.
- [20] 郝宇, 朱天宇. 内蒙古敖包特 1118 高地铜银多金属矿床成因及找矿标志[J]. 内蒙古科技与经济, 2016(7): 80-82.
- [21] 黄广环. 内蒙古中东部重要成矿带地质特征及找矿潜力分析[J]. 黄金科学技术, 2012, 20(4): 33-38.
- [22] 王涛, 王晓霞, 郑亚东. 花岗岩构造研究及花岗岩构造动力学刍议[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 91-113.
- [23] 邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 等. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议[J]. 地质论评, 2015, 61(4): 717-734.
- [24] 陶继雄, 胡飞翔, 陈志勇. 华北陆块北缘印支期 S 型花岗岩带特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(2): 112-118.
- [25] 范中林, 柯于富, 陈文, 等. 内蒙古锡林浩特 I 型花岗岩的时代及构造意义[J]. 资源调查与环境, 2012, 33(3): 191-197.
- [26] 聂兰仕, 程志中, 王学求, 等. 深穿透地球化学方法对比研究-以内蒙古敖包特铅锌矿为例[J]. 地质通报, 2007, 26(12): 1574-1578.
- [27] 张磊, 吕新彪, 刘阁, 等. 兴蒙造山带东段大陆弧后 A 型花岗岩特征与成因[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 869-884.
- [28] 李舫, 王涛, 童英. 中亚造山系中南段早中生代花岗岩类时空分布特征及构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6): 642-662.
- [29] 郝爱华, 顾连兴, 李绪俊, 等. 中国北方造山带岩浆铜镍硫化物矿床及其地球动力学背景[J]. 地质学报, 2006, 80(11): 1721-1729.
- [30] 陈培荣, 华仁民, 章邦桐. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景[J]. 中国科学, 2002, 32(4): 279-289.
- [31] 孙景贵, 张勇, 邢树文, 等. 兴蒙造山带东缘内生钼矿床的成因类型、成矿年代及成矿动力学背景[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1317-1331.
- [32] 刘巍, 郭丽爽, 廖延福, 等. 西秦岭中生代花岗岩锆石 U-Pb-Lu-Hf 同位素特征及地质意义[J]. 北京大学学报, 2020, 56(3): 436-448.