

内蒙古红岭铅锌多金属矿床地质特征

单小瑀¹, 魏良民², 任国顺², 陈佳德², 柳爱新², 谢玉玲¹

(1. 北京科技大学 土木与资源工程学院, 北京 100083; 2. 赤峰山金红岭有色金属矿业有限责任公司, 内蒙古 赤峰 025420)

摘要: 红岭(浩布高)铅锌多金属矿床位于我国大兴安岭南段主峰黄岗-甘珠尔庙成矿带的东北端。该地区成矿地质条件优越,是我国重点矿产勘查区之一。前人对红岭铅锌矿的矿床成因、成矿规律做了大量研究,但对基础地质特征研究不够深入,特别是对矿区主要赋矿围岩的岩石类型、矿区蚀变-矿化的类型及空间分布规律等方面的研究相对薄弱,制约了研究区矿床成因研究及勘察找矿的进展。本文通过详细的野外地质观察、室内岩矿相鉴定及扫描电镜/能谱(SEM/EDS)研究发现,矿区内出露的二叠纪地层除大理岩外,其余均为火山岩和火山碎屑岩,未见正常碎屑岩,与已有勘查资料认识不同,且在片理化二叠系晶屑凝灰岩中发现了由黄铜矿和闪锌矿组成的压力影,表明该区二叠系中可能发育同生的铜、锌矿化。矿区内除矽卡岩型矿化外还存在角砾岩型、热液脉型、碳酸盐交代型等多种矿化类型,为该区找矿提供了新思路。

关键词: 地质特征; 矿化; 蚀变; 二叠系原生矿化; 红岭铅锌多金属矿床; 内蒙古

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2022)03-0628-15

Geological characteristics of Hongling Pb-Zn polymetallic deposit in Inner Mongolia

SHAN Xiao-yu¹, WEI Liang-min², REN Guo-shun², CHEN Jia-de², LIU Ai-xin² and XIE Yu-ling¹

(1. Civil and Resource Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. Chifeng Hongling Nonferrous Mining Co. Ltd. (Shandong Gold Group), Chifeng 025420, China)

Abstract: The Southern Da Hinggan Mountains is one of the most important metallogenic belt, where varied types of mineral deposits have been reported over the past few decades. The Hongling(Haobugao) Pb-Zn polymetallic ore deposit is situated in the northeast of Huanggang-Ganzhuermiao polymetallic metallogenic belt, which is located in the southern segment of the Da Hinggan Mountains, Inner Mongolia. The ore genesis and ore controls of the deposit has been widely reported, but the detailed geological work, especially the lithology of the wall rock, and the spatial distribution of mineralization and alteration in the mining area is still weak. Based on the field observation, petrographic and SEM/EDS results of the ore and altered wall rocks, this paper proposed that the Permian of the area comprise of marble and meta-volcanic or volcanoclastic rocks which has been referred to as meta-sedimentary clastic rocks. The discovery of pressure shadow with chalcopyrite and sphalerite aggregate as the core mineral imply a primary copper and zinc mineralization of Permian. Except the dominant skarn mineralization, we also confirmed some other mineralization types in the mining area, including breccia type, hydrothermal veins and carbonate replacement type. Varied types of mineralization provide new idea for the ore prospecting in the area.

Key words: geological characteristics; mineralization; alteration; Permian primary mineralization; Hongling Pb-Zn polymetallic deposit; Inner Mongolia

收稿日期: 2021-08-31; 接受日期: 2021-12-02; 编辑: 尹淑苹

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0601302)

作者简介: 单小瑀(1990-), 女, 汉族, 博士研究生, 研究方向为矿床学, E-mail: xy.shan@outlook.com; 通讯作者: 谢玉玲(1963-), 女, 汉族, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床学和矿床地球化学方面的研究, E-mail: yulingxie63@hotmail.com。

Fund support: National Key Research and Development Program of China (2017YFC0601302)

大兴安岭地区发育多期构造-岩浆事件,成矿条件优越,是我国16个重点矿产勘查区之一,具有重要找矿潜力(邵济安等,2010;李剑锋,2015)。红岭铅锌多金属矿床位于内蒙古赤峰巴林左旗境内,大地构造上位于兴蒙造山带,是大兴安岭南段成矿带之大兴安岭南段矿集区的重要组成部分,该成矿带内已发现有红岭、双尖子山、白音诺尔、大井(王莉娟等,2015; Jiang *et al.*, 2017; Shu *et al.*, 2021)等一系列铅锌多金属矿床,具有重要的成矿潜力。红岭是该带内已知的大型矽卡岩型铅锌矿床,且除铅锌矿化外,还发育有铜、金、锡、铋等多种金属矿化。由于其重要的资源意义及独特的成矿背景,前人对红岭铅锌矿(也称浩布高铅锌矿)开展了大量的研究工作,包括岩石地球化学(牛吉芳,2017; Wang X D *et al.*, 2018; 袁盛睿,2020; 孙晓峰,2020)、成矿年代学(张德全等,1993; 万多等,2014; Liu *et al.*, 2018; 徐巧等,2020)、成矿流体特征(Wang C Y *et al.*, 2018; Shu *et al.*, 2021)等方面,但对该矿床的矿床地质特征方面的论述多是沿用已有的勘查资料,对矿区主要的赋矿围岩性质、矿化蚀变类型及空间分布、矿物组合等均未进行详细的工作。本文在详细的野外地质调研、井下地质调研、钻孔岩芯编录的基础上,结合显微岩矿相研究、扫描电镜/能谱(SEM/EDS)分析等,对矿区主要赋矿岩石的岩性特征、矿化蚀变类型及矿物组成进行了详细的研究,为深入理解矿床的成因和成矿地质背景提供了重要的依据。

1 区域地质背景

红岭铅锌矿床位于内蒙古自治区赤峰市林东县境内,大地构造上隶属于中亚造山带东部的兴蒙造山带。兴蒙造山带为夹于华北板块与西伯利亚板块之间的巨型造山带(Sengör and Burtman, 1993; Badarch *et al.*, 2002; Windley *et al.*, 2007),其南部以索伦缝合带与华北克拉通相隔(Xiao *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2015)。自晚古生代以来,该区域受古亚洲洋构造域(Jiang *et al.*, 2020)、蒙古-鄂霍茨克构造域与古太平洋构造域(Simon, 2015)的影响,经

历了多期次的构造-岩浆事件及叠加改造,岩浆活动频繁,造就了区域内大量内生金属矿床的形成(图1,周振华等,2010a, 2010b; Zhai *et al.*, 2014)及多期成矿事件的叠加(王丰翔等,2016; 吕新彪等,2020)和复合成矿等过程(杨经绥等,2010)。

大兴安岭南段地区主要出露古生代和中生代地层,其中最老的地层单元是古生代锡林郭勒杂岩,由角闪岩、云母片岩、黑云母石英片岩、斜长片麻岩和黑云母花岗片麻岩组成(施光海等,2003)。古生代地层以二叠系大石寨组、黄岗梁组和林西组为主,是本区最为重要的地层之一,其中大石寨组主要岩石类型有海相熔岩、凝灰岩;林西组以碎屑岩为主,变质程度低,出露范围广(Zhai *et al.*, 2014)。中生代地层主要以侏罗系新民组 and 满克头鄂博组为主,新民组岩性为火山碎屑岩,满克头鄂博组岩石组合以酸性火山岩和火山碎屑岩为主。

兴蒙造山带岩浆活动频繁,海西期、印支期和燕山期均有不同程度的表现,以燕山期最为强烈,既有中酸性到偏碱性的侵入岩,也有双峰式的火山岩(刘锐等,2016),岩性主要为黑云母花岗岩、钾长花岗岩、二长花岗岩和花岗闪长岩。

兴蒙造山带内构造发育,以NW向和NE至EW向断裂为主。NW向断裂规模较小,延伸不长,但是与成矿作用关系密切(李宏星,2014)。古生代地层形成的复式背斜呈NE-SW向贯穿本区,而中生代侏罗纪之后断裂构造转为NE向。这些断裂近乎等距分布,与NW向断层一起组成格子状的构造格架,控制了区内侵入岩和内生金属矿床的展布。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地层

红岭矿区出露的地层较为简单,主要出露下二叠统大石寨组、上侏罗统满克头鄂博组及第四系(图2),满克头鄂博组与大石寨组呈角度不整合接触。以往的勘查资料(内蒙古一一五地质队,1992^①; 内蒙古自治区地勘院,2014^②)认为,矿区内大石寨组主要由一套变质沉积岩和变质火山岩、火山碎屑岩

① 内蒙古一一五地质队. 1992. 浩布高多金属矿详查地质报告.

② 内蒙古自治区地勘院. 2014. 内蒙古自治区巴林左旗红岭铅锌矿715米标高以下详查中间报告.

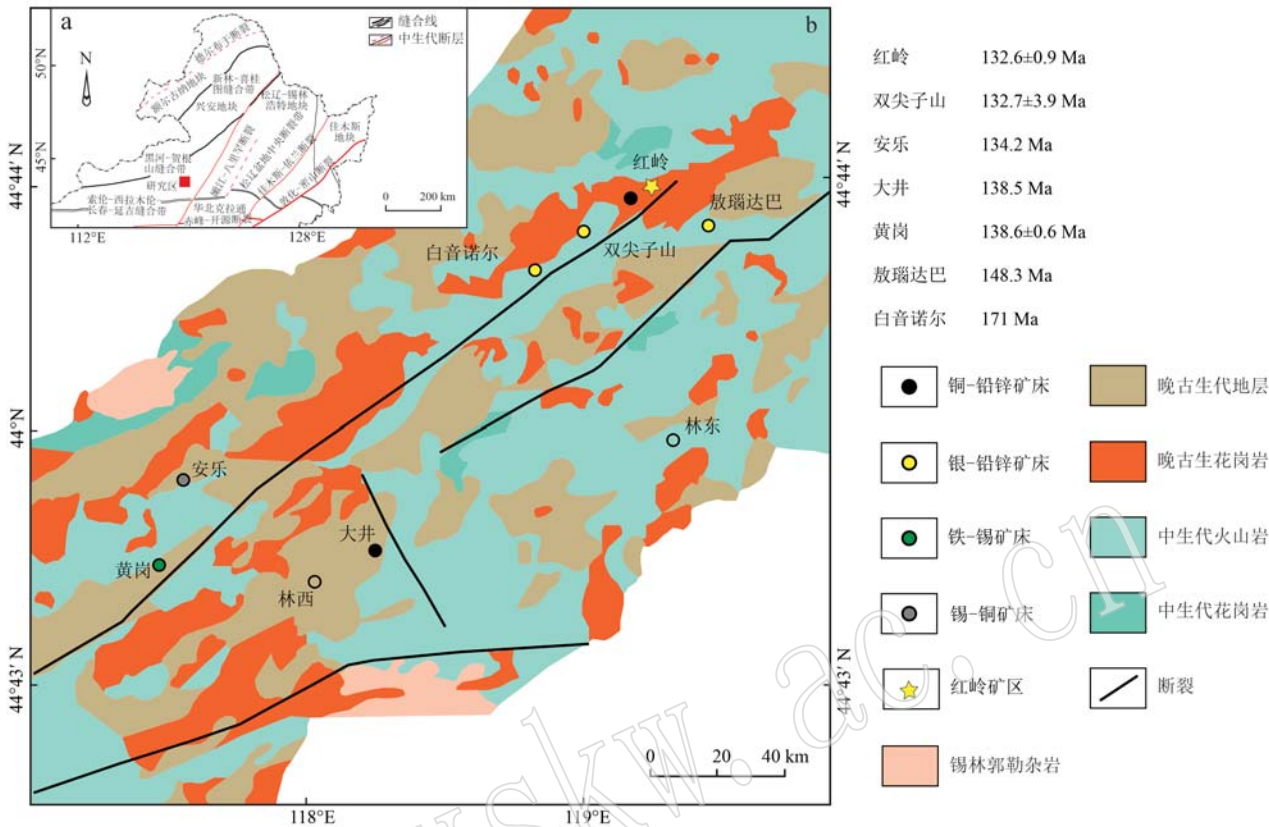


图 1 东北地区大地构造分区简图(a, 据 Liu *et al.*, 2017)和大兴安岭南段地质简图[b, 底图据 Zhai *et al.*, 2014; 年龄数据据周振华等(2010a, 2010b)]

Fig. 1 Tectonic division of the NE China (a, from Liu *et al.*, 2017) and geological map of the southern Da Hinggan Mountains (b, base map after Zhai *et al.*, 2014; data of ages from Zhou Zhenhua *et al.*, 2010a, 2010b)

组成,自下而上可分为 3 个岩性段:下部岩性段包括安山岩、玄武安山岩夹中性凝灰岩、零星的泥质板岩、火山角砾岩;中部岩性段以泥质板岩为主,夹粉砂质板岩、大理岩、变质砂岩、粉砂岩、凝灰砂岩;上部岩性段为斑点板岩和泥质板岩。上侏罗统满克头鄂博组为一套火山岩和火山碎屑岩,包括流纹岩、流纹质岩屑晶屑角砾熔岩和流纹质岩屑晶屑凝灰岩。目前已知矿体主要产于大石寨组中部和上部。详细的岩相学研究结果表明,矿区井下和钻孔揭露的大石寨组上部岩性段中所谓泥质板岩、粉砂质板岩、变质砂岩和粉砂岩均为火山成因,原定为斑点板岩和泥质板岩的原岩应为晶屑凝灰岩,原定为粉砂岩和粉砂质板岩的岩石单元应为石英粗面岩。根据对矿区主要地层的野外、室内岩矿相和 SEM/EDS 分析结果,矿区主要赋矿地层的岩石学特征总结如下:

二叠系大石寨组(P_2ds): ① 大理岩在矿区地表和井下及钻孔岩芯中均普遍见及,是矿区主要的岩

石类型,其原岩为一套海相碳酸盐岩,经变质形成大理岩。矿区的大理岩一般为纯白色-浅灰色,块状构造到条带状构造,细粒变晶结构。普遍发生热液蚀变,包括浸染状绿泥石化、铅锌矿化、硅灰石化、透闪石化、矽卡岩化等。蚀变矿物组合不同,大理岩可呈现不同的颜色。当硅灰石化和透闪石化较强时,其透明度明显增加,而含硫化物时颜色偏暗,含少量阳起石、透辉石、绿泥石、绿帘石时则显淡绿或暗绿色。② 晶屑凝灰岩原定为黑板岩或泥质板岩。岩石呈灰-灰黑色(图 3a),板状-千枚状构造,变余火山凝灰结构。其中碎屑物质以石英晶屑为主(图 3b),并可见少量长石晶屑。岩石变形较强,片理发育,主要表现为晶屑的定向排列和片状矿物的定向排列,其片理化方向与区域构造线方向一致,呈 NE 走向。显微镜下可见其中发育由硫化物形成的压力影,其中核心矿物为黄铜矿、磁黄铁矿和闪锌矿组成的硫化物矿物集合体(图 3c),影子矿物主要为石英和绿泥石(图 3d)。③ 石英粗面岩原

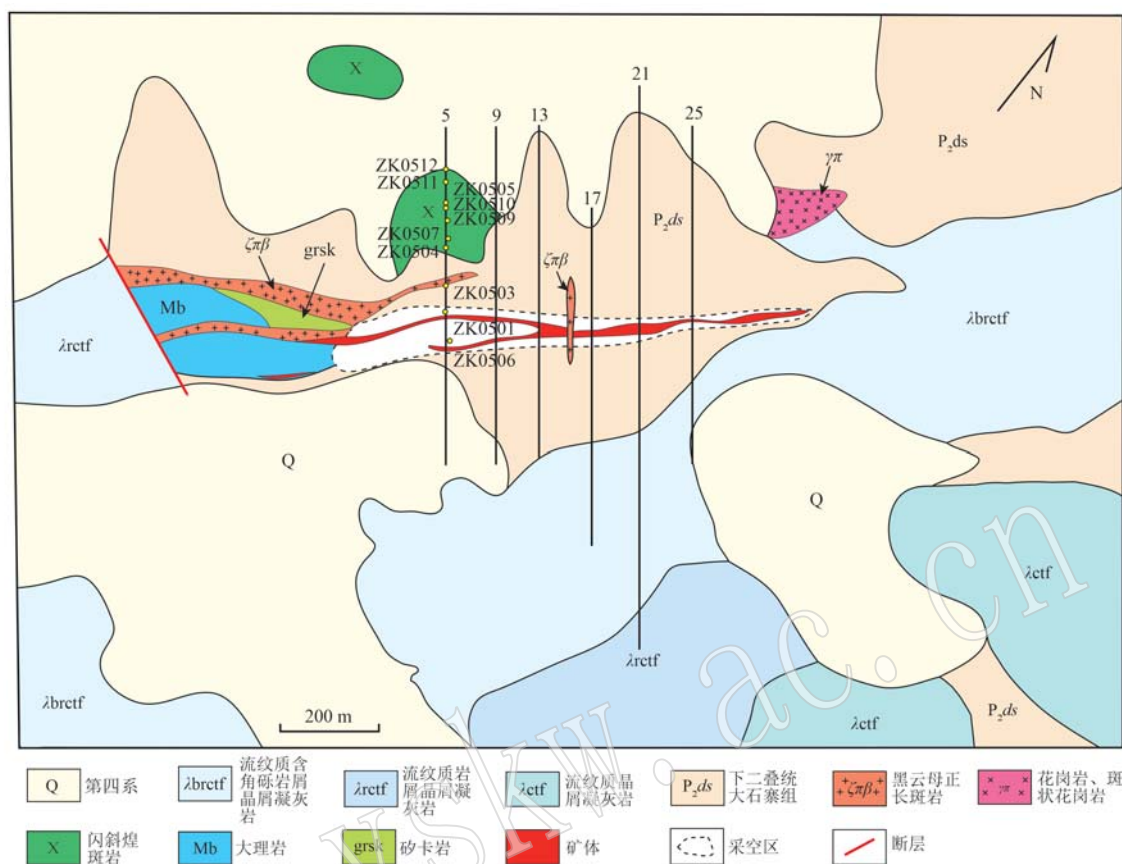


图2 红岭铅锌多金属矿区地质图(据内蒙古一一五地质队, 1992)^①

Fig. 2 Geological sketch map of Hongling Pb-Zn polymetallic ore district (after No. 115 Geological Team in Inner Mongolia, 1992)^①

定为粉砂岩。岩石呈砖红色-粉红色, 流纹状-块状构造(图3e), 斑状结构, 其斑晶主要为碱性长石以及少量石英(图3f), 透长石多呈骸晶结构, 部分透长石、歪长石围绕在石英斑晶周围, 石英斑晶多为浑圆状, 基质主要为碱性长石和暗色矿物, 暗色矿物普遍蚀变, 形成细针状赤铁矿, 使岩石呈砖红色。副矿物主要有磷灰石、锆石、萤石等。蚀变明显, 主要呈浸染状和微细脉状, 蚀变类型主要为钠沸石化, 可见钠沸石细脉, 并常见浸染状的方铅矿和闪锌矿以及少量黄铜矿等硫化物。

上侏罗统满克头鄂博组(J₃mk): 主要出露于矿区西部和矿区南东, 呈角度不整合覆盖于二叠系之上, 岩性主要为晶屑岩屑熔结角砾凝灰岩和火山角砾岩。晶屑岩屑熔结角砾凝灰岩呈灰白色, 大部分风化较强, 风化后常呈土黄色。岩石具有块状构造、含角砾凝灰结构, 角砾成分包括围岩碎屑和熔岩碎屑, 晶屑主要有石英、钾长石等; 火山角砾岩呈

灰白色, 风化后呈土黄色。岩石具有块状构造、火山角砾结构。角砾成分为片理化晶屑凝灰岩和少量浆屑, 呈次棱角状-次圆状, 被凝灰级的岩屑和晶屑等火山灰胶结。

2.2 矿区构造

区内构造较为发育, 主要分为褶皱构造和断裂构造, 褶皱构造体现在中部的二叠系大石寨组所构成的轴面倾向北西的倒转背斜, 其核部是大理岩, 两翼为火山岩和火山碎屑岩, 北西翼被花岗岩侵入。

断裂构造表现为北东向断裂和北西向断裂。北东向断裂构造整体倾向北西, 倾角约70°, 目前矿体的产状主要受NE断层控制。断层中发现明显的挤压片理化带(图4a)以及两侧岩石中发育平行的裂隙带和次生裂隙带(图4b)。断层主要显示压性特征, 但局部有张开, 应是先期压性断裂再活化的表现。矿区二叠系火山岩、火山碎屑岩和大理岩中均

① 内蒙古一一五地质队. 1992. 浩布高多金属矿详查地质报告.

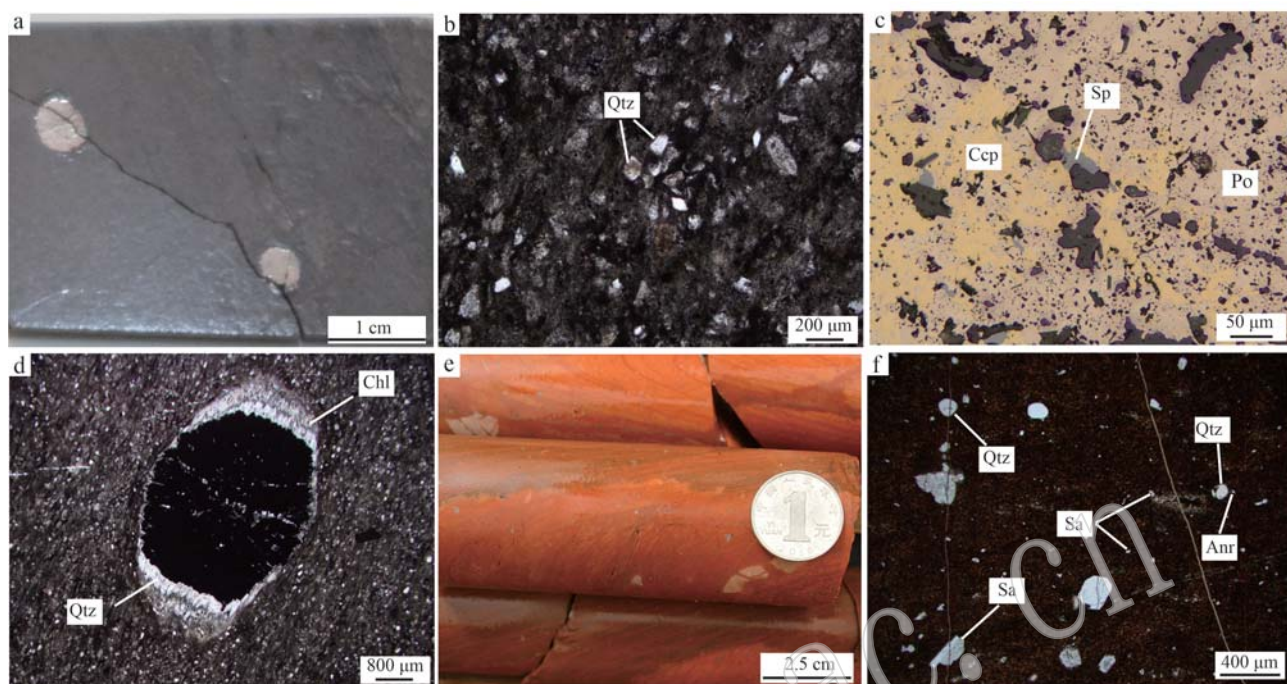


图3 矿区主要赋矿地层的岩相学特征照片

Fig. 3 Photos of petrographic characteristics of main ore-bearing strata in the mining area

a—晶屑凝灰岩手标本照片；b—晶屑凝灰岩中的石英晶屑(−)；c—晶屑凝灰岩中的硫化物(反射光)；d—晶屑凝灰岩显微照片(−)；
e—石英粗面岩手标本照片；f—石英粗面岩显微照片(+)；Qtz—石英；Ccp—黄铜矿；Sp—闪锌矿；Po—磁黄铁矿；Sa—透长石；
Anr—歪长石；Chl—绿泥石
a—hand-specimen photo of crystal tuff；b—photomicrograph of quartz in crystal tuff (−)；c—sulfide in schistose crystal tuff (reflected light)；
d—photomicrograph of crystal tuff (−)；e—hand-specimen photo of quartz trachyte；f—photomicrograph of quartz trachyte (+)；Qtz—quartz；
Ccp—chalcopyrite；Sp—sphalerite；Po—pyrrhotite；Sa—sanidine；Anr—anorthosite；Chl—chlorite

可见NE向的片理发育，其产状与NE向断裂构造一致。NW向构造可错断NE向构造，且矿区目前的蚀变和矿化多发育于NW向构造的两侧，特别是断层的上盘，表明NW向构造可能为成矿期构造。矿区出露的黑云母正长斑岩主要受NW向构造控制，多呈NW走向，倾角较陡。笔者对区内地表出露的21组破碎带以及井下的45组断裂带进行产状测量(图4c)。结果表明，矿区断层、裂隙主要为NE走向，其次为NNW和近EW向。

2.3 矿区侵入岩

区内发育多期岩浆活动，岩石类型多样，包括黑云母二长花岗岩、黑云母正长斑岩和闪斜煌斑岩。

黑云母二长花岗岩呈岩株产出，矿区地表未见出露，但矿区多个钻孔岩芯证实其深部为黑云母二长花岗岩岩株。岩石新鲜面呈灰白色(图5a)，轻微蚀变后呈肉红色，等粒-不等粒结构，块状构造。岩石主要由钾长石(30%~40%，体积分数)、斜长石

(30%~40%)、石英(20%~25%)和黑云母(<5%)组成(图5b)。副矿物为锆石、钛铁矿、金红石和榍石等。

黑云母正长斑岩是矿区最常见的侵入岩，在矿区地表、井下和钻孔岩芯中均可见及，多沿北西向构造呈岩脉或岩墙产出，少数呈NE向。岩石呈深灰、灰黑、暗灰红色，斑状结构，块状构造(图5c)。斑晶主要为碱性长石和黑云母(图5d)，基质主要为碱性长石、斜长石和石英。基质为隐晶-细晶质结构。矿区的黑云母正长斑岩普遍发育蚀变，其蚀变类型包括暗色矿物的阳起石化、绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化、赤铁矿化等及长石的绢云母化、粘土矿化等。

闪斜煌斑岩多以岩墙、岩脉的形式产出，岩脉厚度多为数十厘米到数米不等(图5e)，颜色为深灰绿色或灰黑色，浅色矿物主要为斜长石(~50%)，暗色矿物以角闪石为主，其次为辉石和黑云母。岩石具细粒-辉绿结构，斜长石呈自形的板条状。矿

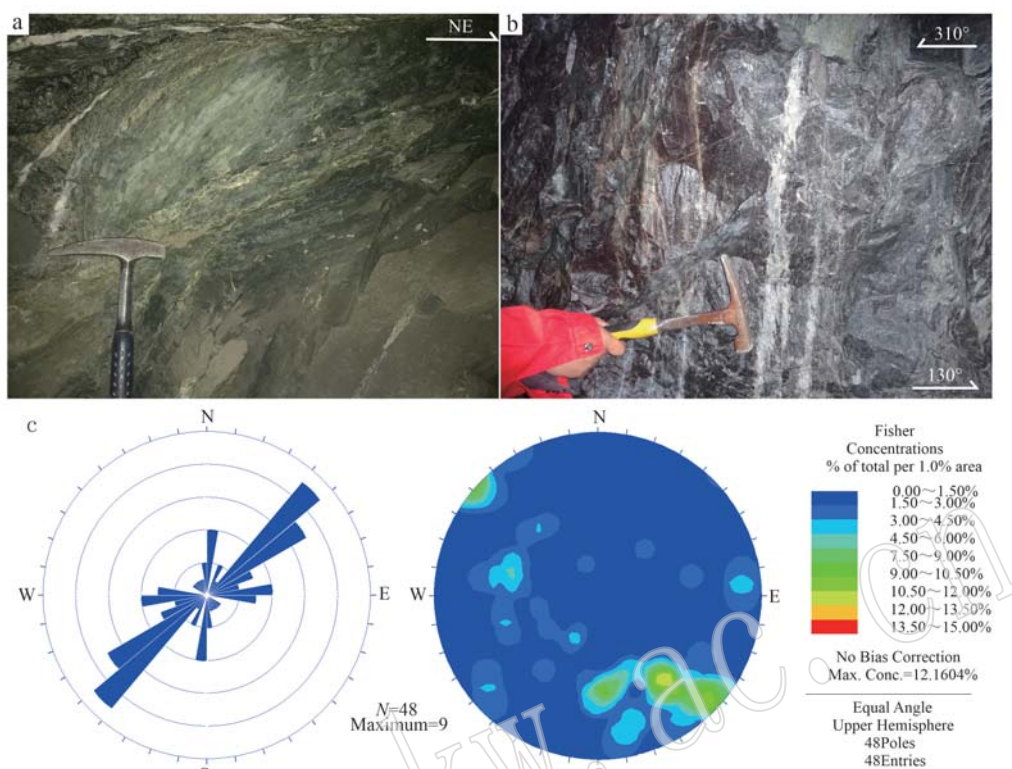


图4 挤压变形强烈的断裂带(a)、两侧的裂隙(b)及矿区井下断裂构造走向的玫瑰花图和节理等密图(c)
Fig. 4 Fault zone with compressive deformation (a), fault fracture zone (b) and rose diagram of fault structure strike and joint density map (c)

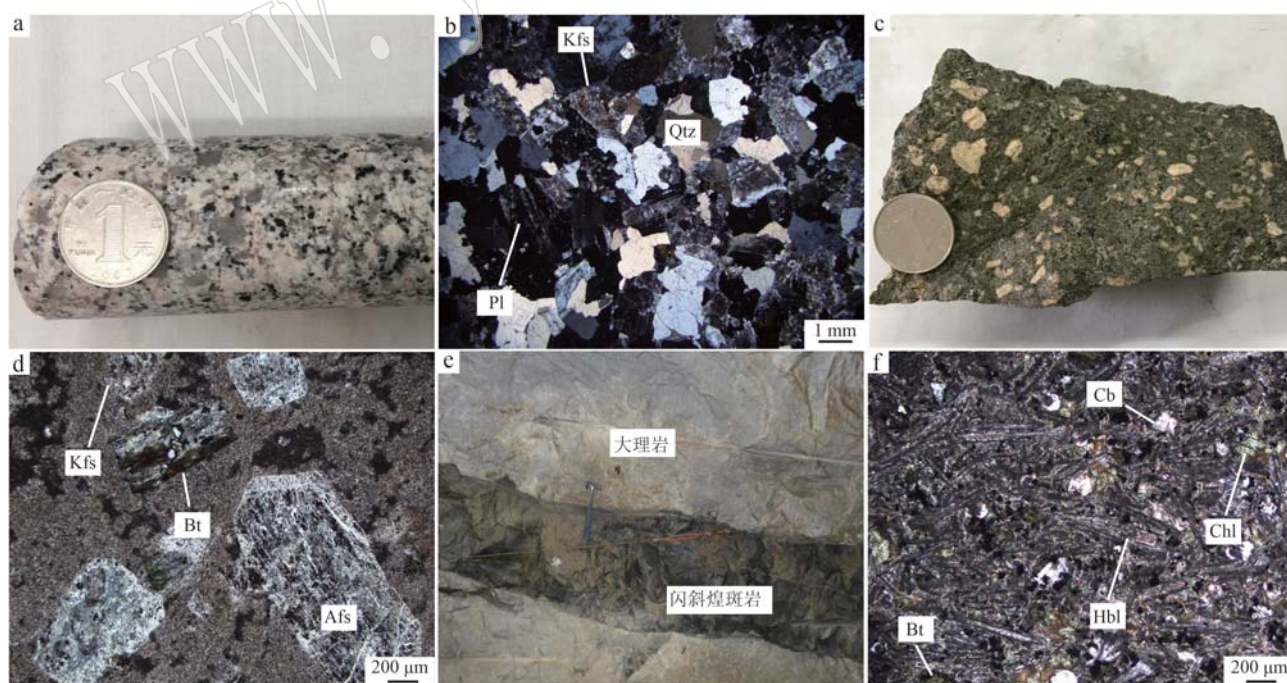


图5 矿区侵入岩的野外(手标本)和显微照片

Fig. 5 Field petrological characteristics and micro-lithologic characteristics of intrusive rock
a, b—黑云母二长花岗岩手标本及正交偏光照片; c, d—黑云母正长斑岩手标本及正交偏光照片; e, f—闪斜煌斑岩野外及单偏光照片;
Kfs—钾长石; Qtz—石英; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Afs—碱性长石; Cb—碳酸盐; Chl—绿泥石; Hbl—普通角闪石
a, b—hand-specimen and cross-polarized photomicrograph of biotite monzogranite; c, d—hand-specimen and light photomicrograph of biotite syenite porphyry; e, f—field and plane-polarized light photomicrograph of diorite lamprophyre; Kfs—K-feldspar; Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Bt—biotite; Afs—alkalifeldspar; Cb—carbonate; Chl—chlorite; Hbl—hornblende

区闪斜煌斑岩蚀变明显,主要是暗色矿物绿泥石化、碳酸盐化,浅色矿物多发育泥化、绢云母化、碳酸盐化,并可见其中沿裂隙分布的绿泥石-碳酸盐脉(图 5f)。

3 矿化、蚀变及矿物组成特征

3.1 矿体的形态、产状

矿区圈定矿体主要为矽卡岩型矿体,多呈层状、似层状、透镜状产出,产于二叠系大石寨组的大理岩与凝灰质板岩的接触面之大理岩一侧或沿大理岩中的破碎带分布,矿化在走向上总体连续,但矿化不均匀,局部膨大、收缩明显。矿体总体走向北东 59° ,倾向北西,倾角总体约 75° ,局部近直立(图 6)。矿体在 10 线~33 线均有地表露头,长约 1 200 m。在 13 线、17 线和 21 线深部以西矿体形成分支,南西侧为 1 号矿体,北西侧为 2 号矿体,其层间为 1-1 号矿体,是目前矿区主要的开采对象。

3.2 矿区的主要矿化类型

红岭铅锌矿区的矿化主要为矽卡岩型矿化,包括矽卡岩型铁矿化、铅锌矿化和少量铜矿化。其中铁矿化主要与石榴子石矽卡岩有关(图 7a),铅锌矿化主要与透辉石和绿帘石矽卡岩有关(图 7b)。笔者通过详细的井下踏勘和钻孔编录发现,矿区除矽卡岩型矿化外,在矿区主矿体的上下盘的井巷工程和钻孔岩芯中还见有多种矿化类型,包括发育于侏罗系火山角砾岩中的脉状-网脉状、角砾岩型锌矿化、晶屑凝灰岩中的细网脉状铜矿化、大理岩中的碳酸盐交代型铅锌矿化,深部钻孔还发现有浸染状和石英脉型辉钼矿化等。脉状-网脉状和角砾岩型铅锌矿化主要发育于主矿体下盘,表现为火山碎屑岩中的角砾岩型和脉状-网脉状铅锌矿化,角砾岩型矿化中角砾棱角分明(图 7c),显示张性角砾岩的特征。角砾发育明显的蚀变,主要为碳酸盐化、泥化和绿泥石化。角砾胶结物或脉体中的金属矿物以闪锌矿为主(图 7d),脉石矿物主要为粘土矿物、石英、碳酸盐矿物和绿泥石;碳酸盐交代型铅锌矿化发育规模较小,仅见于主矿体边部的大理岩中,表现为闪锌矿和方铅矿交代大理岩中的碳酸盐矿物(图 7e);细网脉型铜矿化主要发育于主矿体上盘的凝灰质板岩中,表现为石英-硫化物细脉或网脉,主要金属矿物组合为黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿,目前控制的规模不大;脉状或浸染状钼矿化仅在 ZK0205 钻

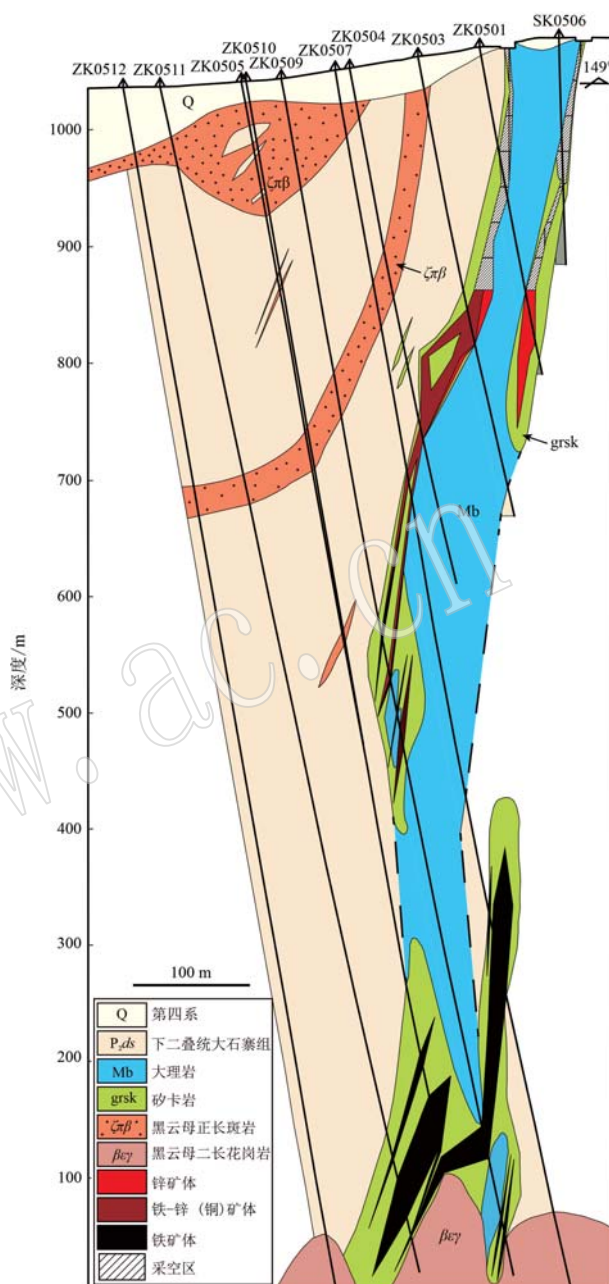


图 6 红岭铅锌多金属矿 5 号勘探线剖面图

Fig. 6 Geological section along 5th exploration line through the Hongling Pb-Zn polymetallic deposit

孔深部见及,矿物组合主要为石英和辉钼矿(图 7f)。对矿区该类型的钼矿化尚未进行详细的工作。另外在矽卡岩型矿体中还见有少量的铋矿化和锡矿化,其主要矿物组合分别为自然铋、辉铋矿(图 7g)和锡石(图 7h)。

3.3 矿区围岩蚀变

红岭矿区内围岩蚀变广泛且较强烈,主要包括矽卡岩化、绿泥石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化、粘

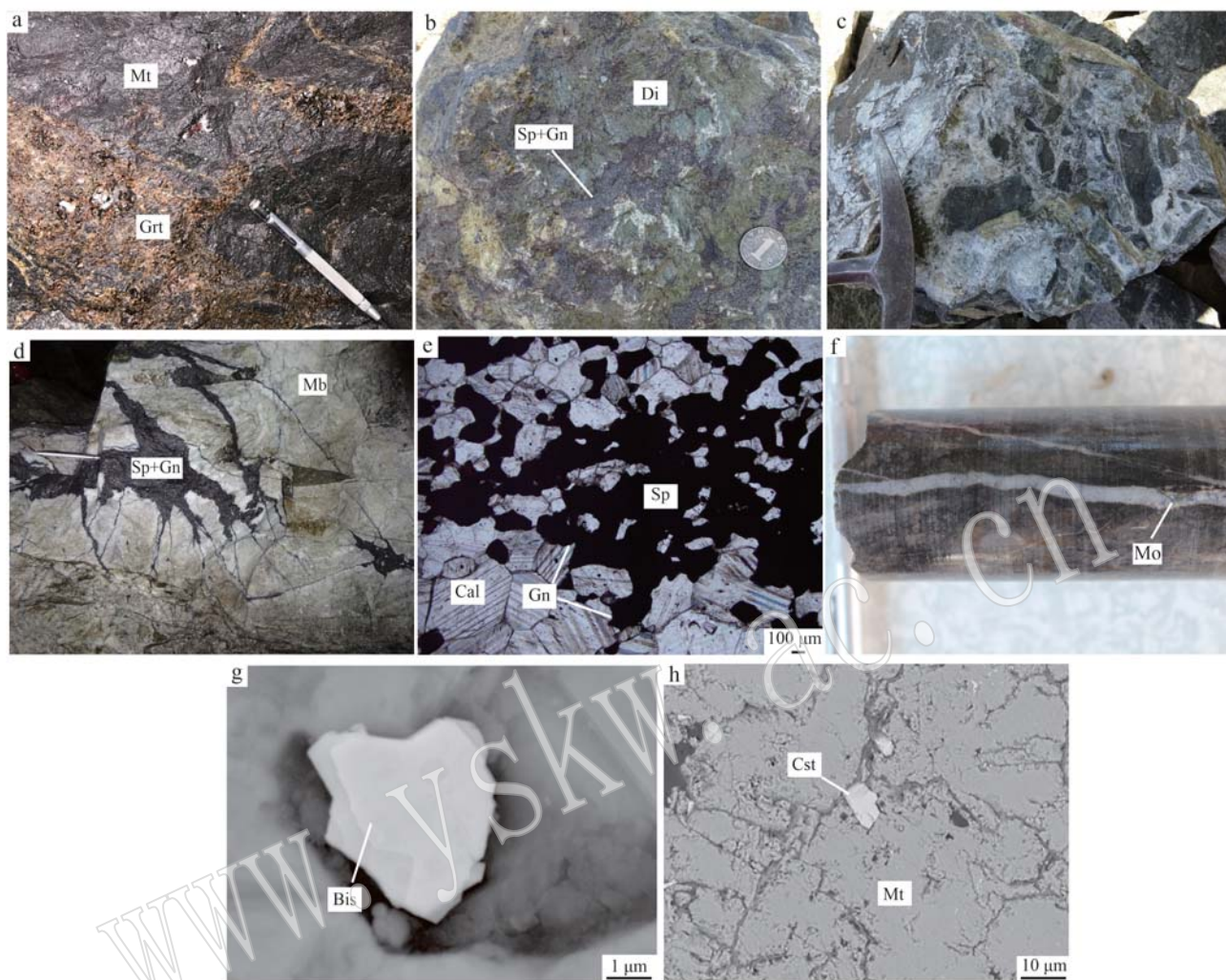


图7 矿区矿化类型的野外、显微照片及背散射照片

Fig. 7 Field and micrographs of mineralization types in the Hongling mining area

a—磁铁矿矽卡岩；b—透辉石矽卡岩；c—角砾岩型矿化；d—网脉状矿化；e—碳酸盐交代铅锌矿化(+)；f—黑云母二长花岗岩中的钼矿化；g—钻孔深部发育的辉铋矿背散射照片；h—磁铁矿中发育锡石的背散射照片；Mt—磁铁矿；Grt—石榴石；Di—透辉石；Sp—闪锌矿；

Gn—方铅矿；Mb—大理岩；Cal—方解石；Mo—辉钼矿；Bis—辉铋矿；Cst—锡石

a—field photo of magnetite skarn；b—field photo of diopside skarn；c—breccia type mineralization；d—network mineralization；e—photomicrograph of carbonate metasomatic lead-zinc minerals (+)；f—molybdenite mineralization in biotite monzogranite；g—bismuth pyroxene in deep borehole (BSE)；

h—cassiterite in magnetite (BSE)；Mt—magnetite；Grt—garnet；Di—diopside；Sp—sphalerite；Gn—galena；Mb—marble；Cal—calcite；

Mo—molybdenite；Bis—bismuthinite；Cst—cassiterite

土矿化、钠沸石化等。矽卡岩化是区内最重要的蚀变类型，主要发育于碳酸盐岩地层中；绿泥石化主要发育于矿体上下盘的围岩中，以石英-绿泥石囊团、绿泥石-碳酸盐-硫化物细脉以及网脉状绿泥石化为主，且分布范围大，具有很好的找矿指示意义；硅化主要表现为围岩中的脉状蚀变和岩体或火山岩地层中的浸染状蚀变，显示受构造控制的特征；粘土矿化主要见于矿区南部的钻孔岩芯和主矿体下盘围岩中，主要表现为沿构造裂隙分布的碳酸

盐-粘土矿物细脉，或交代岩体或火山岩中的长石，其共生矿物有石英、金属硫化物、方解石和萤石。局部可见呈张性空间充填的石英-碳酸盐-伊利石晶洞或脉状细粒石英-冰长石-伊利石。矿区碳酸盐化特别发育，包括岩体中长石和角闪石的碳酸盐化和围岩中细脉状-浸染状碳酸盐化等。晚期的碳酸盐化表现为刀片状方解石，且常与萤石伴生；钠沸石化主要发育于矿区二叠系石英粗面岩和黑云母正长斑岩中，常呈极细的脉状或浸染状分布。

3.4 成矿阶段和矿物组成

根据井下脉体之间的穿切关系,并结合室内岩、矿相鉴定和 SEM/EDS 分析结果,将红岭矿区的成矿作用划分为 4 个成矿阶段(图 8、图 9),包括:

I 磁铁矿阶段、II 矽卡岩阶段、III 石英-铅锌多金属硫化物阶段;IV 方解石-黄铁矿-毒砂-粘土矿物阶段。其中 I、II、III 是主要成矿阶段。

磁铁矿阶段(I):主要发育于矿区井下,主要

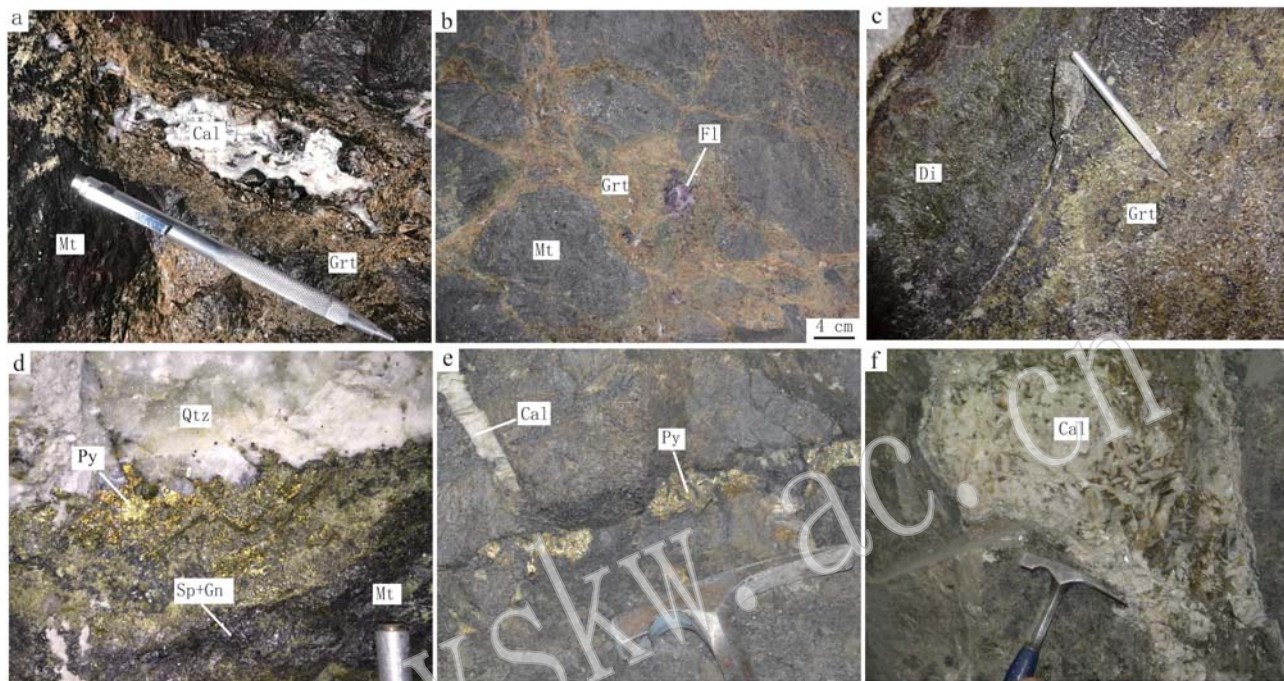


图 8 矿区各成矿阶段特征的野外照片

Fig. 8 Field photos of metallogenic stages

a, b—磁铁矿阶段; c, d—主要成矿阶段; e, f—方解石-黄铁矿-毒砂-粘土矿物阶段; Mt—磁铁矿; Grt—石榴子石; Cal—方解石; Fl—萤石; Di—透辉石; Qtz—石英; Sp—闪锌矿; Gn—方铅矿; Py—黄铁矿

a, b—magnetite stage; c, d—main metallogenic stage; e, f—calcite-pyrite-arsenopyrite-clay stage; Mt—magnetite; Grt—garnet; Cal—calcite; Fl—fluorite; Di—diopside; Qtz—quartz; Sp—sphalerite; Gn—galena; Py—pyrite

表现为矽卡岩中的块状-不规则囊团状磁铁矿。井下可见石榴子石矽卡岩沿磁铁矿体中的裂隙分布(图 8a),或在磁铁矿体中呈脉状产出(图 8b),表明磁铁矿形成早于石榴子石矽卡岩。

矽卡岩阶段(II):主要矿物组成为钙铁石榴子石(图 8c)、透辉石、阳起石、黑柱石、钙铁辉石,并含少量磁铁矿、铁阳起石、钙铝石榴子石和绿帘石等。矿区发育多种石榴子石矽卡岩,颜色由棕色、粉棕色至绿色不等。绿色石榴子石矽卡岩一般产于矽卡岩脉的中间部位,其间被石英或碳酸盐矿物充填,表明其形成晚于钙铁石榴子石;透辉石和阳起石矽卡岩一般分布在矽卡岩中靠近大理岩一侧,透辉石呈柱状由围岩向外生长,阳起石常产于透辉石带再向外,呈放射状或不规则状分布,再向外出现硅灰石矽卡岩。

石英-铅锌多金属硫化物阶段(III):主要矿物组

成为石英、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿;主要表现为矽卡岩中或矿体围岩中不规则状石英-硫化物团块(图 8d)、脉状-网脉状石英硫化物。

方解石-黄铁矿-毒砂-粘土矿物阶段(IV):主要矿物组成为方解石、含铁方解石、石英、萤石、粘土矿物和黄铁矿(图 8e),含少量方铅矿和闪锌矿。井下可见方解石-黄铁矿脉切穿石榴子石矽卡岩或透辉石-阳起石矽卡岩,也可切穿石英-硫化物脉,表明其形成较晚。方解石-萤石脉中部常见晶洞构造及其中的刀片状方解石(图 8f)。

4 讨论

4.1 二叠系岩性的新认识及硫化物压力影的发现

地层岩性是成岩背景和矿床成因研究的重要依据。笔者通过详细的野外地质、岩芯编录以及室内

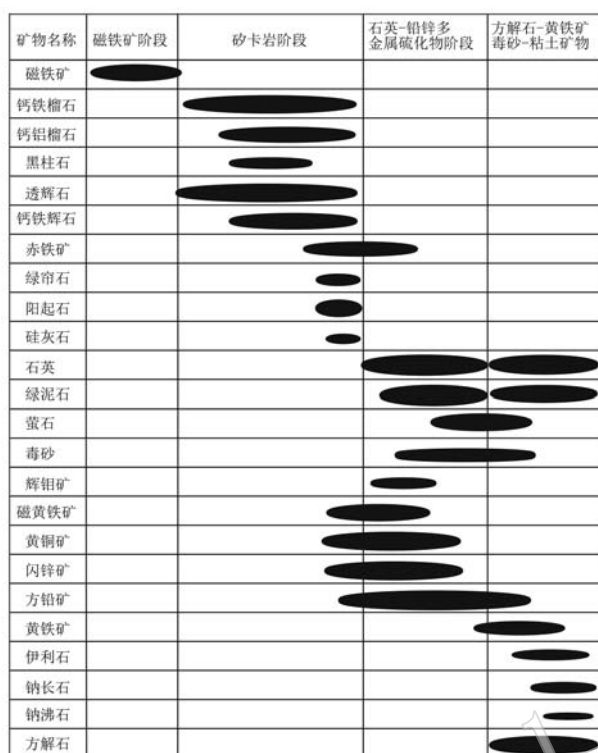


图 9 红岭铅锌多金属矿床矿物生成顺序表

Fig. 9 Paragenetic sequence of minerals from the Hongling Pb-Zn polymetallic deposit

岩矿相鉴定、主要岩石样品的 SEM/EDS 分析,对矿区二叠系大石寨组岩性进行了重新梳理。结果表明,矿区大石寨组地层均为火山岩及火山碎屑岩,未发现正常碎屑岩类。原地质资料中称为泥质板岩或碳质板岩的应为片理化的晶屑凝灰岩,岩石含较多的细粒金属硫化物是岩石呈黑色的原因。另外,原勘查资料中将矿区红色的岩石称为粉砂岩,但岩相学和 SEM/EDS 结果表明其应为碱性火山岩,岩石具有斑状结构,斑晶主要为碱性长石和石英,基质主要为碱性长石和暗色矿物。由于岩石多发生较强的蚀变,其中暗色矿物均已蚀变为赤铁矿,因此使岩石呈现砖红色。对二叠系岩性的新认识,特别是碱性火山岩的发现为区内二叠纪地层的沉积环境和构造演化提供了新的证据。

野外和岩矿相结果表明,大石寨组晶屑凝灰岩发育明显的片理化,其中的晶屑和片状矿物具有定向性,表明其经历了挤压变形事件,而含石英英脉和矽卡岩明显切穿地层中的片理,表明成矿为变形后产物。岩矿相和 SEM/EDS 发现,大石寨组晶屑凝灰岩中发育由硫化物组成的压力影构造,其中核心矿物由黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿组成,而影子矿

物为石英和绿泥石,且压力影的排列与片理方向一致,表明在该区可以存在构造变形前的铜锌矿化,其可能代表了火山岩同期的矿化。前人对区域内大石寨组的年代学测试结果表明,其成岩年龄主要集中在 282 ~ 270 Ma,为早二叠世产物 (Yu *et al.*, 2017),这与中亚造山带的西段[如新疆可可塔勒铅锌矿床 (Zheng *et al.*, 2013)]、东段[如内蒙温都尔庙地区 (高征西等, 2019)] VMS 型铜-多金属矿床的成矿时代相近,表明区内二叠纪海底火山活动可能具有很好的成铜潜力。红岭矿区的成矿年龄为 139 ± 0.6 Ma (锡石 U-Pb 年龄, Liu *et al.*, 2018),为晚中生代成矿事件产物。中国东部广泛发育燕山期斑岩-矽卡岩型 Mo (W-Sn)-热液型铅锌成矿系统 (Zhai *et al.*, 2017; 谢玉玲等, 2020),如内蒙东乌旗地区、安徽沙坪沟地区、东秦岭地区等 (李厚民等, 2008; 谢玉玲等, 2015; 王莹等, 2019)。这些矿床中金属组合以钨、钼、铅、银为主,铜含量一般不高。但内蒙中部发现多个铜锡、锡-铜-多金属矿床[如大井铜锡矿 (王莉娟等, 2015)、维拉斯托锡铜多金属矿 (周振华等, 2019)],对其中铜的来源目前仍存在认识上的分歧 (江思宏等, 2010; 郭祥义, 2019)。大石寨组地层中同生铜锌矿化的发现表明,区内二叠纪海相火山岩可能具有一定的成铜潜力,尽管目前未见规模的 VMS 型铜矿化,但原生含铜金属硫化物的发现表明其中含铜较高,这为内蒙中部燕山期铜-金属矿床中铜的来源提供了一种新的思路,值得进一步探讨,也为区内找矿提供了新思路。

4.2 矿区多种矿化类型的发现及找矿意义

矿区早期勘查主要是针对矽卡岩型矿体,而对其它类型的矿化关注不够。矿区碳酸盐地层分布有限,已实施的钻探工程证实,矿区深部为黑云母二长花岗岩小岩株,深部矽卡岩成矿空间受限。近年的井巷工程和钻探工程显示,除矽卡岩型矿化外,矿区的角砾岩型-热液脉型铅、银矿化、脉状铜矿化也具有重要的经济意义,目前已在主体矿上盘圈定了板岩中的细脉状铜矿体一个,在主矿体下盘的侏罗纪火山碎屑岩中圈定多个铅、银矿体,表明除矽卡岩型矿体外,矿区还发现多种具有经济意义的矿化类型。目前发现的角砾岩型和热液脉型铅、银矿体多产于主控矿构造 (NE 向断裂) 下盘的平行断裂中,伴生的蚀变以碳酸盐化、泥化为特征,表现为远离热液中心的蚀变和矿化,且其中铁矿化不发育。矿

区内断裂构造发育,其上盘和下盘均发现有多条平行断裂,且其中可见强绿泥石化(上盘)和泥化、碳酸盐化(下盘)蚀变,显示出一定的找矿潜力,因此,加强矿区及外围断裂控制的热液脉型矿化的找矿勘查是矿区未来找矿的主要方向。

4.3 矿区蚀变的空间分布及控制因素

蚀变的空间分布规律是成矿地质模型的重要内容,也是找矿的重要依据。从目前已知矿化的空间分布及与地层、断裂构造的关系看,红岭铅锌矿的矿化和蚀变受多种因素控制,包括 NE 和 NW 向断裂及产状、不同岩性的界面及产状、围岩性质、围岩中裂隙发育程度、与成矿岩体的空间关系等,因此造成了矿区的蚀变空间分布复杂、变化较大。

NE 向断裂构造和碳酸盐地层控制了矽卡岩型矿体的总体展布,造成主矿体主要沿 NE 向断裂构造发育(图 2)。在 NE 向构造及 NW 向构造的交汇部分往往形成矿体的膨大部位,且 NW 向断裂的上盘矿化明显好于下盘,表明 NW 向构造可能是导矿构造,其可切穿 NE 向构造,形成晚于 NE 向断裂。从岩性上看,矽卡岩型矿化主要发育于凝灰质板岩与大理岩交界处的大理岩一侧或产于大理岩内的构造破碎带中,且大理岩中裂隙发育程度决定了矽卡岩化发育的规模。从矿化和蚀变的空间分布上看,

总体上主矿体的 SW 段深部以铁为主,浅部和 NE 为铅锌。蚀变也表现出一定的规律性,沿主矿体从 NE 向 SW,其蚀变类型、蚀变规模显示出一定的变化,石榴子石矽卡岩主要发育于矿体的 SW 段,特别是深部,向 NE 逐渐减弱、变薄(图 10)。单个矽卡岩体或矽卡岩脉的矿物学分带也较为清楚,从流体通道(如断层、岩层界面或岩体与围岩的接触带)向外(大理岩)依次为石榴子石矽卡岩带、透辉石矽卡岩带、阳起石-绿帘石矽卡岩带、青盘岩化带、硅灰石带。但由于矿区的控矿构造复杂,且岩性变化较大,同一蚀变分带在不同岩性中的表现也不同,因此难以建立矿区蚀变的详细分带模型,但蚀变的总体变化规律仍可为找矿提供一些有用的信息。矿区 SW 地表(约 13 线附近)可见强阳起石化的黑云母正长斑岩,而南北两侧则表现为绿泥石化,表明其可能靠近热液通道,而此处也是 NE 和 NW 向构造的交汇部位,而主矿化下盘次级构造中主要表现为碳酸盐化、泥化等,上盘地表和钻孔中可见大量的绿泥石化、硅化,表明其应为热液中心外围的蚀变产物。根据矿区断裂构造、矿化、蚀变的空间分布,笔者认为,矿区主矿体向 SW 和上下盘次级断裂中均具有较好的找矿潜力,应予以重视,特别是加强主矿体上下盘中脉状铜、铅锌矿化的找矿勘查。

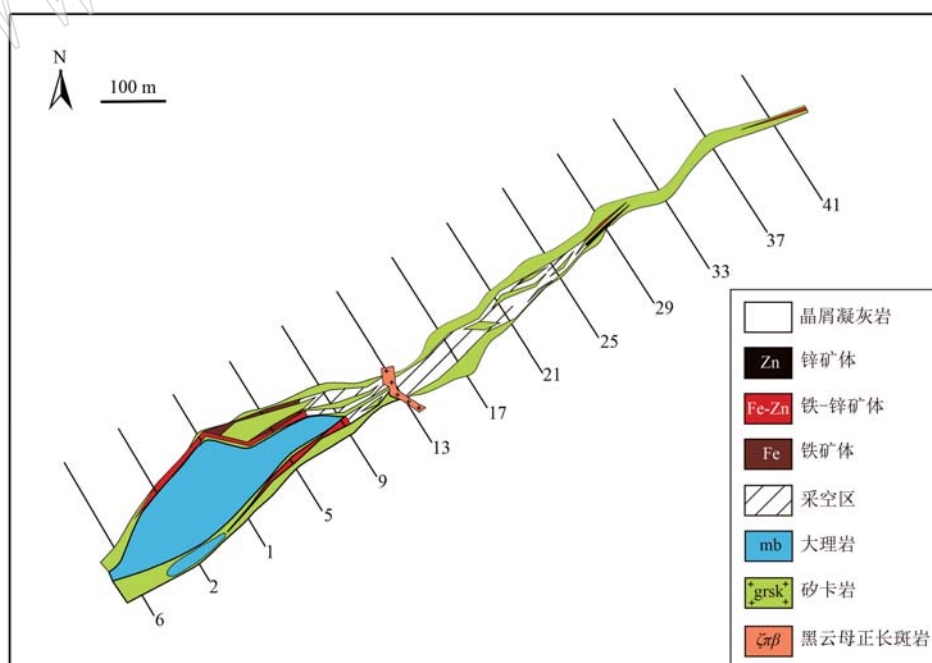


图 10 红岭铅锌多金属矿床 805 m 标高水平断面图

Fig. 10 Horizontal section at 805 m elevation from the Hongling Pb-Zn polymetallic deposit

5 结论

(1) 通过详细的野外地质、岩芯编录以及室内岩矿相鉴定工作, 对矿区内二叠系的岩性进行了重新厘定, 提出, 原地质资料中描述的粉砂岩应为碱性火山岩, 而泥质页岩和黑色页岩为一套片理化晶屑凝灰岩, 为区内二叠纪地层的成岩环境和构造背景研究提供了新的证据。

(2) 在详细的岩矿相和 SEM/EDS 研究基础上, 发现了二叠系大石寨组由黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿组成的压力影, 表明区内存在变形前的铜锌矿化, 可能代表了二叠纪海底火山活动同期的 VMS 型矿化。这一发现为区内中生代铜-多金属矿床的成矿物质来源研究提供了新的思路, 也为区内找矿提供了新的方向。

(3) 通过对矿区主要矿化、蚀变的空间分布规律的系统总结, 查明了矿区的矿化和蚀变的空间分布规律和控制因素。结果表明, 矿区的矿化和蚀变主要受断裂、地层岩性控制, 矽卡岩型矿化主要沿 NE 向断裂产出, 特别是大理岩与板岩接触带的大理岩一侧。在 NE 向断裂与 NW 断裂交汇处, 特别是 NW 向断裂上盘规模较大。

(4) 矿区除矽卡岩型矿化外, 主矿体上下盘中的热液脉状、网脉状和角砾岩型铅锌(铜)矿化、铜矿化也具有一定的成矿潜力。矿区主矿体向 SW 和上下盘次级断裂中均具有较好的找矿潜力。

References

- Badarch G, Cunningham W D and Windley B F. 2002. A new terrane subdivision for Mongolia; Implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(1): 87~110.
- Gao Zhengxi, Wang Jichun, Zhou Lulu, *et al.* 2019. Discovery of Early Permian island-arc type granodiorites in Wenduermiao Area, Inner Mongolia: Constraints on timing of closure of Paleo-Asian Ocean[J]. *Earth Science*, 44(10): 3 178~3 192(in Chinese with English abstract).
- Guo Xiangyi. 2019. Geochemical Characteristics of the Weilasituo Zinc-Copper Polymetallic Deposit in Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Jiang S H, Chen C L, Bagas L, *et al.* 2017. Two mineralization events in the Baiyinnuoer Zn-Pb deposit in Inner Mongolia, China: Evidence from field observations, S-Pb isotopic compositions and U-Pb zircon ages[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 144 (15): 339~367.
- Jiang Sihong, Nie Fengjun, Liu Yifei, *et al.* 2010. Sulfur and lead isotopic compositions of Bairendaba and Weilasituo silver-polymetallic deposits, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 29(1): 101~112 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Y, Jiang S H, Li S Z, *et al.* 2020. Paleozoic to Mesozoic micro-block tectonics in the eastern Central Asian Orogenic Belt: Insights from magnetic and gravity anomalies[J]. *Gondwana Research*, 102: 229~251.
- Li Hongxing. 2014. Geochronology, Geochemistry and Tectonic Significance of Paleozoic and Mesozoic Granitoids in the Southern Area of Da Hinggan Mountains, China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Li Houmin, Chen Yuchuan, Ye Huishou, *et al.* 2008. Mo, (W), Au, Pb, Zn minerogenetic series related to Mesozoic magmatic activities in the East Qinling-Dabie Mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82 (11): 1 468~1 477(in Chinese with English abstract).
- Li Jianfeng. 2015. Mineralization and Periphery Metallogenic Prediction of the Hongling Pb-Zn Polymetallic Deposit in Chifeng, Inner Mongolia[D]. Jilin: Jilin University(in Chinese with English abstract).
- Liu L J, Zhou T F, Zhang D Y, *et al.* 2018. S isotopic geochemistry, zircon and cassiterite U-Pb geochronology of the Haobugao Sn polymetallic deposit, southern Great Xing'an Range, NE China[J]. *Ore Geology Reviews*, 93: 168~180.
- Liu Rui, Yang Zhen, Xu Qidong, *et al.* 2016. Zircon U-Pb ages, elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of the Hercynian granitoids from the southern segment of the Da Hinggan Mts.: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32 (5): 1 505~1 528(in Chinese with English abstract).
- Liu Y J, Li W M, Feng Z Q, *et al.* 2017. A review of the Paleozoic tectonics in the eastern part of Central Asian Orogenic Belt[J]. *Gondwana Research*, (43): 123~148.
- Lü Xinbiao, Yang Junsheng, Fan Xiejun, *et al.* 2020. Geology and genesis of lead-zinc polymetallic deposits in the Great Xing'an Range[J]. *Earth Science*, 45(12): 4 399~4 427(in Chinese with English abstract).

- Niu Jifang. 2017. The Geological Characteristics Study and Metallogenic Prediction of the Haobugao Pb-Zn-Cu Deposit in Inner Mongolia [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Sengör A M C and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 364: 299~307.
- Shao Ji'an, Mu Baolei, Zhu Huizhong, *et al.* 2010. Material source and tectonic settings of the Mesozoic mineralization of the Da Hinggan Mts [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 649~656 (in Chinese with English abstract).
- Shi Guanghai, Liu Duni, Zhang Fuqin, *et al.* 2003. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of Xinlinhot Complex in Inner Mongolia and its significance, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(20): 2 187~2 192 (in Chinese).
- Shu Qihai, Chang Zhaoshan and John Mavrogenes. 2021. Fluid compositions reveal fluid nature, metal deposition mechanisms, and mineralization potential: An example at the Haobugao Zn-Pb skarn, China [J]. *Geology*, 49(4): 473~477.
- Simon A W. 2015. Final amalgamation of the Central Asian Orogenic Belt in NE China: Paleo-Asian Ocean closure versus Paleo-Pacific plate subduction—A review of the evidence [J]. *Tectonophysics*, 662(1): 345~362.
- Sun Xiaofeng. 2020. Geochronology, Geochemical Characteristics and Geological Significance of The Wulanba Pluton and Xiaohanshan Pluton, Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Wan Duo, Li Jianfeng, Wang Yicun, *et al.* 2014. Re-Os radiometric dating of molybdenite in Hongling lead-zinc polymetallic deposit, Inner Mongolia, and its significance[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 39(6): 687~695 (in Chinese with English abstract).
- Wang C Y, Li J F, Wang K Y, *et al.* 2018. Geology, fluid inclusion, and stable isotope study of the skarn-related Pb-Zn (Cu-Fe-Sn) polymetallic deposits in the southern Great Xing'an Range, China: Implications for deposit type and metallogenesis[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(5): 88.
- Wang Fengxiang, Sun Hongjun, Pei Rongfu, *et al.* 2016. The geologic features and genesis of Shuangjianzishan silver-polymetallic deposit, Balinzuo Qi, Inner Mongolia[J]. *Geological Review*, 62(5): 1 241~1 256 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lijuan, Wang Jingbin, Wang Yuwang, *et al.* 2015. Metallogenic mechanism of fluid and prospecting forecast of Dajing Sn-Cu polymetallic deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(4): 991~1 001 (in Chinese with English abstract).
- Wang X D, Xu D M, Lü X B, *et al.* 2018. Origin of the Haobugao skarn Fe-Zn polymetallic deposit, Southern Great xing'an range, NE China: Geochronological, geochemical, and Sr-Nd-Pb isotopic constraints[J]. *Ore Geology Reviews: Journal for Comprehensive Studies of Ore Genesis and Ore Exploration*, 94: 58~72.
- Wang Ying, Xie Yuling, Zhong Richen, *et al.* 2019. Metallogenic system of Shapinggou porphyry molybdenum-hydrothermal lead-zinc deposit in Dabie orogeny belt: Constraints from fluid inclusions and stable isotope[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 29(3): 628~648 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z W, Pei F P, Xu W L, *et al.* 2015. Geochronology and geochemistry of Late Devonian and early Carboniferous igneous rocks of central Jilin Province, NE China: Implications for the tectonic evolution of the eastern Central Asian Orogenic Belt [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97(1): 260~278.
- Windley B, Alexeiev D, Xiao W J, *et al.* 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Journal of the Geological Society*, 264: 31~37.
- Xiao W J, Windley B F, Hao J J, *et al.* 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian Orogenic Belt[J]. *Tectonics*, 22(6): 1 069~1 090.
- Xie Yuling, Cui Kai, Xia Jiaming, *et al.* 2020. The origin of ore-forming materials of the Yanshanian porphyry Mo-hydrothermal Pb-Zn (Ag) metallogenic system in eastern China[J]. *Earth Science Frontier*, 27(2): 182~196 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yuling, Li Lamei, Li Yingxu, *et al.* 2015. Yanshanian Molybdenum (Tungsten)-Lead Zinc (Silver) Metallogenic System in East Wuzhumu Banner, Inner Mongolia[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Xu Qiao, Tang Guo, Zou Tao, *et al.* 2020. Metallogenic system and target area prediction of the Haobugao tin polymetallic orefield in the Bairin Left Banner, southern section of Daxinganling[J]. *Geology and Exploration*, 56(2): 265~276 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Ma Changqian, *et al.* 2010. Compound orogeny and scientific problems concerning the Central Orogenic Belt of

China[J]. *Geology in China*, 37(1): 1~11 (in Chinese with English abstract).

Yu Q, Ge W C, Zhang J, *et al.* 2017. Geochronology, petrogenesis and tectonic implication of Late Paleozoic volcanic rocks from the Dashizhai Formation in Inner Mongolia, NE China[J]. *Gondwana Research*, 43: 164~177.

Yuan Shengrui. 2020. Geochemistry of the Granite from the Haobugao Skarn Zn-Pb Deposit in Inner Mongolia, and its Geological Significance[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).

Zhang Dequan and Zhao Yiming. 1993. Zoning and Genesis of Haobugao Pb-Zn-Cu (Sn) Skarn Deposit[M]. Beijing: Seismological Publishing House (in Chinese).

Zhai D G, Liu J J, Zhang A L, *et al.* 2017. U-Pb, Re-Os and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of porphyry $\text{Sn}\pm\text{Cu}\pm\text{Mo}$ and polymetallic (Ag-Pb-Zn-Cu) vein mineralization at Bianjiadayuan, Inner Mongolia, Northeast China: Implications for discrete mineralization events[J]. *Economic Geology*, 112(8): 2 041~2 059.

Zhai D G, Liu J J, Zhang H Y, *et al.* 2014. S-Pb isotopic geochemistry, U-Pb and Re-Os geochronology of the Huanggangliang Fe-Sn deposit, Inner Mongolia, NE China[J]. *Ore Geol. Rev.*, 59: 109~122.

Zheng Y, Zhang L, Chen Y J, *et al.* 2013. Metamorphosed Pb-Zn-(Ag) ores of the Keketale VMS deposit, Xinjiang: Evidence from ore textures, fluid inclusions, geochronology and pyrite compositions[J]. *Ore Geol. Rev.*, 54: 167~180.

Zhou Zhenhua, Gao Xu, Ouyang Hegen, *et al.* 2019. Formation mechanism and intrinsic genetic relationship between tin-tungsten-lithium mineralization and peripheral lead-zinc-silver-copper mineralization: Exemplified by Weilasituo tin-tungsten-lithium polymetallic deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposit*, 38(5): 1 004~1 022 (in Chinese with English abstract).

Zhou Zhenhua, Lü Linsu, Feng Jiarui, *et al.* 2010a. Molybdenite Re-Os ages of Huanggang skarn Sn-Fe deposit and their geological significance, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(3): 667~679 (in Chinese with English abstract).

Zhou Zhenhua, Lü Linsu, Yang Yongjun, *et al.* 2010b. Petrogenesis of the Early Cretaceous A type granite in the Huanggang Sn Fe deposit, Inner Mongolia: Constraints from zircon U-Pb dating and geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3 521~3 537 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

高征西,王继春,周路路,等. 2019. 内蒙古温都尔庙地区早二叠世岛弧型花岗闪长岩的发现:对古亚洲洋闭合的时限约束[J]. *地球科学*, 44(10): 3 178 ~ 3 192.

郭祥义. 2019. 内蒙古维拉斯托锌铜多金属矿床地球化学特征[D]. 北京:中国地质大学(北京).

江思宏,聂凤军,刘翼飞,等. 2010. 内蒙古拜仁达坝及维拉斯托银多金属矿床的硫和铅同位素研究[J]. *矿床地质*, 29(1): 101~112.

李剑锋. 2015. 内蒙古赤峰红岭铅锌多金属矿床成矿作用及外围成矿预测[D]. 吉林:吉林大学.

李宏星. 2014. 大兴安岭南段古生代-中生代花岗岩类年代学、岩石地球化学及构造演化[D]. 北京:中国地质大学(北京).

李厚民,陈毓川,叶会寿,等. 2008. 东秦岭-大别地区中生代与岩浆活动有关钼(钨)金银铅锌矿床成矿系列[J]. *地质学报*, 82(11): 1 468~1 477.

刘锐,杨振,徐启东,等. 2016. 大兴安岭南段海西期花岗岩类锆石 U-Pb 年龄、元素和 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学:岩石成因及构造意义[J]. *岩石学报*, 32(5): 1 505~1 528.

吕新彪,杨俊声,范谢均,等. 2020. 大兴安岭地区铅锌多金属矿床时空分布、地质特征及成因[J]. *地球科学*, 45(12): 4 399~4 427.

牛吉芳. 2017. 内蒙古浩布高铅锌铜矿床地质特征研究与成矿预测[D]. 北京:中国地质大学(北京).

邵济安,牟保磊,朱慧忠,等. 2010. 大兴安岭中南段中生代成矿物质的深部来源与背景[J]. *岩石学报*, 26(3): 649~656.

施光海,刘敦一,张福勤,等. 2003. 中国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及意义[J]. *科学通报*, 48(20): 2 187~2 192.

孙晓峰. 2020. 内蒙古乌兰坝和小罕山岩体年代学、地球化学特征及其地质意义[D]. 北京:中国地质大学(北京).

万多,李剑锋,王一存,等. 2014. 内蒙古红岭铅锌多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其意义[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 39(6): 687~695.

王丰翔,孙红军,裴荣富,等. 2016. 巴林左旗双尖子山银多金属矿床基本地质特征及成因机制[J]. *地质论评*, 62(5): 1 241~1 256.

王莉娟,王京彬,王玉往,等. 2015. 内蒙古大井锡铜多金属矿床流体成

- 矿机理及外围找矿预测[J]. 岩石学报, 31(4): 991~1 001.
- 王莹, 谢玉玲, 钟日晨, 等. 2019. 大别造山带沙坪沟斑岩型钼-热液脉型铅锌矿成矿系统: 流体包裹体及稳定同位素约束[J]. 中国有色金属学报, 29(3): 628~648.
- 谢玉玲, 崔凯, 夏加明, 等. 2020. 中国东部燕山期斑岩钼-热液型铅锌(银)成矿系统的成矿物质来源[J]. 地学前缘, 142(2): 190~204.
- 谢玉玲, 李腊梅, 李应栩, 等. 2015. 内蒙古东乌珠穆沁旗地区燕山期钼(钨)-铅锌(银)成矿系统[M]. 北京: 地质出版社.
- 徐巧, 唐果, 邹滔, 等. 2020. 大兴安岭南段巴林左旗浩布高锡多金属矿田成矿系统与靶区预测[J]. 地质与勘探, 56(2): 265~276.
- 袁盛睿. 2020. 内蒙古浩布高矽卡岩型 Zn-Pb 矿床岩石地球化学研究及其意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 杨经绥, 许志琴, 马昌前, 等. 2010. 复合造山作用和中国中央造山带的科学问题[J]. 中国地质, 37(1): 1~11.
- 张德全, 赵一鸣. 1993. 浩不高铅锌铜锡夕卡岩矿床分带及成因探讨[A]. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集[C]. 北京: 地震出版社, 100~115.
- 周振华, 高旭, 欧阳荷根, 等. 2019. 锡钨锂矿化与周围脉状铅锌银铜矿化的内在成因关系和形成机制——以内蒙古维拉斯托锡钨锂多金属矿床为例[J]. 矿床地质, 38(5): 1 004~1 022.
- 周振华, 吕林素, 冯佳睿, 等. 2010a. 内蒙古黄岗夕卡岩型锡铁矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 26(3): 667~679.
- 周振华, 吕林素, 杨永军, 等. 2010b. 内蒙古黄岗锡铁矿区早白垩世 A 型花岗岩成因: 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学制约[J]. 岩石学报, 26(12): 3 521~3 537.