

中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿地球化学特征及LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄对比

张璟, 邵军, 鲍庆中, 王宏博, 周永恒

ZHANG Jing, SHAO Jun, BAO Qingzhong, WANG Hongbo, ZHOU Yongheng

中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China

摘要:中蒙克鲁伦—满洲里成矿带矿产资源丰富, 潜力巨大。中国境内满洲里及其南西一线集中产出查干不拉根、哈拉胜、格拉陶勒盖铅锌矿和甲乌拉银铅锌矿, 蒙古国毗邻地段产出查夫、乌兰铅锌矿, 形成中蒙边境铅锌矿矿集区。采集研究区铅锌矿床样品进行地球化学研究及LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄测试。结果表明, 上述铅锌矿床与成矿相关的火山岩—一次火山岩—侵入岩大多属亚碱性系列; 微量元素分布模式具有相似性; 乌兰铅锌矿具有明显的负Eu异常, 其他3个铅锌矿则具较弱的负Eu异常。根据锆石U-Pb测年结果认为, 晚侏罗世—早白垩世应代表成矿年龄, 成矿带铅锌矿床均为形成于拉伸环境下的次火山热液型铅锌矿。对比分析了位于同一成矿带内的两国铅锌矿, 揭示该矿集区铅锌矿的成矿特征及成矿规律, 为进一步指导中国境内该矿集区的铅锌矿找矿工作提供理论依据。

关键词:克鲁伦—满洲里成矿带; 铅锌矿; 地球化学特征; LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄

中图分类号: P618.4; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2015)04-0663-12

Zhang J, Shao J, Bao Q Z, Wang H B, Zhou Y H. A comparative study of lithgeochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb age of lead-zinc deposits in the Herlen-Manzhouli metallogenic belt along China-Mongolia border area. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(4):663-674

Abstract: The Herlen-Manzhouli metallogenic belt, which possesses abundant mineral resources, is located along the border area of northeastern China and eastern Mongolia. The lead-zinc ore concentration area ranging from N 48°, E 114° to N 50°, E 117° in the China-Mongolia border area has Chaganbulagen, Halashenggelataolegai lead-zinc deposits and Jiawula silver-lead-zinc deposit in China and Tsav, Ullan lead-zinc deposits in Mongolia. Based on field geological work and research on these deposits, the authors systematically investigated lithgeochemical characteristics and obtained zircon U-Pb ages by means of LA-ICP-MS. According to the results obtained, volcanic rocks-subvolcanic rocks-intrusive rocks related to mineralization mostly belong to sub-alkaline series, with similar distribution models of rare elements; the Ullan lead-zinc deposit has obvious negative anomalies of δ Eu, whereas other deposits have relatively weak negative anomalies of δ Eu; J_3 -K₁ should be the ore-forming epoch, as shown by zircon dating data; lead-zinc deposits in the belt should be defined as subvolcanic hydrothermal lead-zinc deposits formed in an extensional setting in J_3 -K₁. Making use of these results, the authors made a comparative study and analysis of the above deposits in the same metallogenic belt so as to reveal the metallogenic characteristics and regularity of the area. The results achieved by the authors provide a theoretical basis for lead-zinc ore prospecting in this area.

Key words: Herlen-Manzhouli metallogenic belt; lead-zinc deposit; lithgeochemical characteristics; LA-ICP-MS zircon U-Pb age

收稿日期: 2014-09-09; 修订日期: 2014-12-19

资助项目: 中国地质调查局项目(编号: 1212011120328, 12120114001101, 1212011220912)

作者简介: 张璟(1984-), 男, 博士, 工程师, 从事矿床学与成矿规律研究。E-mail: 441005231@qq.com

中蒙克鲁伦—满洲里成矿带位于中国东北地区与蒙古国东部衔接部位,分别属中国内蒙古自治区和蒙古国东方省管辖。从大地构造位置看,该成矿带地处华北—蒙古块体(Northern China-Mongolia block)东北段,位于中蒙古—额尔古纳前寒武纪—早古生代中间地块东南部。受前中生代和中—新生代多期次大规模构造作用影响,该成矿带内各时代地层(体)出露广泛,深大断裂纵横交错,侵入岩十分发育^[1],矿产资源丰富,潜力巨大。

在该成矿带中国境内满洲里及其南西一线,集中产出查干不拉根铅锌矿、甲乌拉银铅锌矿、哈拉胜格拉陶勒盖铅锌矿,为蒙古国毗邻地段产出查夫、乌兰铅锌矿,形成中蒙边境(N48°~50°、E114°~117°)铅锌矿矿集区。中国学者对蒙古国境内铅锌矿的研究过去主要通过对外文文献的翻译^[2],随着中蒙地质合作加强,中国地质工作者可以亲赴蒙古国进行野外地质考察,掌握第一手资料。中国学者对查干不拉根、甲乌拉铅锌矿进行了大量研究,对其成矿特征、控矿构造、成矿机理进行过详细阐述^[3-7],但缺乏详细的岩石地球化学特征分析及精准的测年数据支持。

笔者结合近年来的野外地质工作,对采集到的样品进行了系统的岩石地球化学研究及LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年。本文对该成矿带内两国的铅锌矿进行对比,试图揭示该矿集区铅锌矿成矿特征及成矿规律,为进一步指导中国境内该矿集区区域的铅锌矿找矿工作提供理论依据。

1 区域地质背景

中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿矿集区横跨鄂霍茨克造山带和额尔古纳地块2个构造单元,东南衔接海拉尔盆地。如前所述,区域自古生代以来构造岩浆活动强烈,中生代达到顶峰。区内大面积展布二叠纪花岗岩,局部呈孤岛状出露石炭纪花岗岩,研究区西北部集中分布下白垩统火山岩,东北部主要分布上侏罗统火山岩,中部可见上元古界片岩。与中生代岩浆活动成因相关的铅锌矿床集中分布(图1)。

2 矿床地质特征

2.1 查夫铅锌矿

查夫银铅锌矿区位于蒙古国东方省乔巴山市东北123km处,矿区中心地理坐标为N48°55′40″、E115°20′33″,大地构造位置属于中亚造山带东段

克鲁伦—额尔古纳河地质构造带的恩盖山基岩隆起部位。该基岩隆起单元同其他一系列毗邻火山构造盆地一样,属于NE走向的蒙古东部大陆内部火山—侵入岩带,是中生代以来构造岩浆活化的产物。

恩盖山基岩隆起单元具有基底—盖层的双层结构,基底由新元古代厚层萨尔希特变质岩层及早古生代花岗岩类构成;盖层则主要由晚中生代查夫岩层组成。查夫岩层为晚侏罗纪岩浆活动的产物,主要由安山玄武质火山爆发—溢流相喷出物(安山岩及其凝灰熔岩、玄武岩、安山玄武岩及其凝灰熔岩和碎屑熔岩)组成,其上部为具透长石斑晶的流纹岩。整套岩层中火山碎屑岩占据较大比例,碎屑为火山岩或侵入岩碎块。

矿区内早古生代和中生代侵入岩较为发育,晚侏罗纪查夫—巴彦努尔杂岩体出露于恩盖山火山岩浆岩带中心部位,主要岩石类型为花岗闪长岩、二长花岗岩和碱长花岗岩,受NE向及近SN向断裂带控制,伴随岩体侵入过程形成一系列近EW向、NE向环状断裂。查夫矿区多金属成矿即受控于查夫—巴彦努尔杂岩体西缘的NW向巴彦努尔断裂。

矿区内的构造特征取决于近EW向—NWW向基底断裂构造和NW向—近SN向查夫断裂带。近EW向—NWW向基底断裂构造形成于早古生代,后期(晚中生代)不断受到改造。NW向—近SN向查夫断裂带为控矿构造,倾向NE,倾角65°~80°,宽度约2km,黄铁矿化强烈。

矿体类型为倾角较大的脉状矿体,中间相为石英—硫化物相,边缘相为碳酸盐—硫化物相。蚀变矿物由中心向边缘依次发育石英—绢云母—黄铁矿组合和绿泥石—碳酸盐。矿石结构主要为他形—半自形粒状结构。矿石构造主要为浸染状、块状和角砾状构造。含矿带中主要金属矿物是方铅矿和闪锌矿,其次是黄铁矿、黄铜矿、白铁矿、辉铜矿;副矿物主要有石英、碳酸盐和绢云母。矿化阶段可以分为青磐岩化、黄铁矿化、锰菱铁矿—多金属矿化、石英—多金属矿化、石英—碳酸盐化。

含矿岩石类型主要为查夫—巴彦努尔杂岩体中的花岗闪长岩,成矿与该期次岩浆热液活动关系密切。其次是早古生代花岗岩和查夫岩层火山岩,显示成矿对于围岩选择性较差。根据矿体地质特征及流体包裹体特征,查夫铅锌矿为中温热液矿床,在其形成的早期阶段,表现出气化活动特征;主矿体形成温

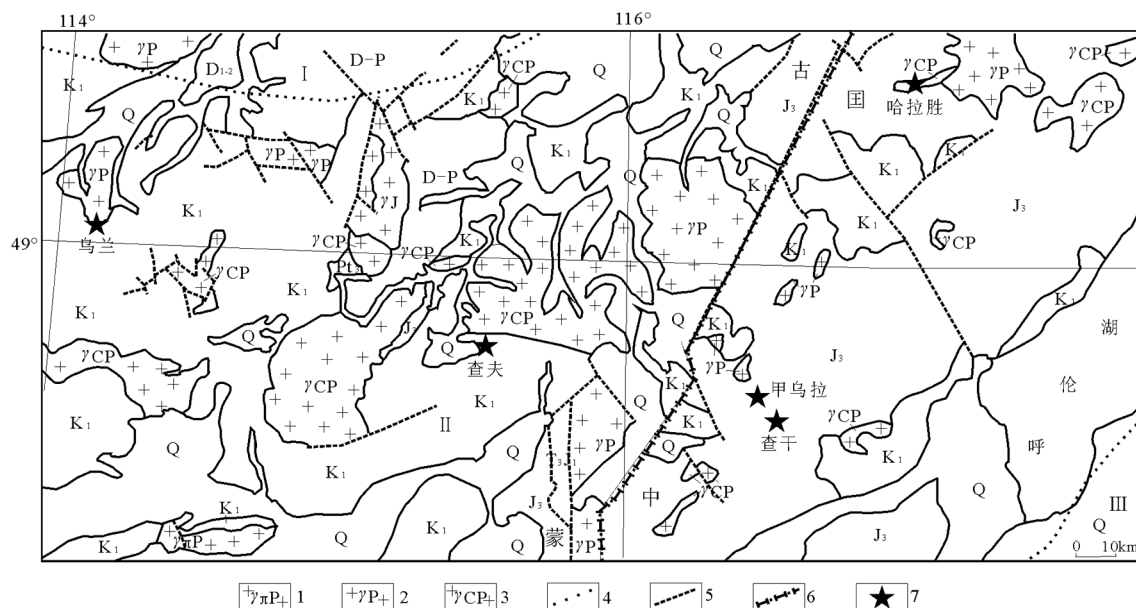


图1 中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿矿集区地质图

Fig. 1 Geological map of lead-zinc ore concentration area

Q—第四系;K₁—下白垩统火山岩;J₃—上侏罗统火山岩;T₁J₁—上三叠统—下侏罗统火山岩;D—P—泥盆系—二叠系火山岩;D₁₋₂—下—中泥盆统火山岩—碳酸盐岩;Pt₃—新元古界片岩;I—蒙古—鄂霍茨克造山带;II—额尔古纳地块;III—海拉尔盆地。1—二叠纪花岗斑岩;2—二叠纪花岗岩;3—石炭纪—二叠纪花岗岩;4—构造单元界线;5—断裂;6—国界;7—铅锌矿床

度为360~380℃,推测其就位深度不超过500m^①。可见,查夫铅锌矿属于浅成中温热液矿床。

2.2 乌兰铅锌矿

乌兰铅锌矿位于蒙古国东方省省会乔巴山市以北125km,矿区中心地理坐标为N49°05′、E114°05′。大地构造位置为都尔诺特中生代火山岩构造带北翼,该构造带断裂发育,其中最主要的是陡倾的NE向和NW向断裂带,这些断裂带的长度为几十千米,深度可达几百米。

乌兰铅锌矿区地层具有基底和盖层组成的双层结构。基底为古元古代细粒—中粒闪长质片麻岩,伴生发育细粒透辉石—磁铁矿矽卡岩和透辉石—石榴子石矽卡岩。盖层主要为中生代火山岩与火山沉积岩,底部为凝灰岩—英安岩,中部为安山岩—玄武岩,上部为霏细岩。基底和盖层都被晚期石英斑岩脉切穿,延伸方向主要为NW向,其次为EW向。石英斑岩脉形成于火山活动晚期或热液蚀变作用早期,是主要的容矿岩石。岩脉中的角砾岩经历了热液蚀变和矿化作用,被石英—萤石—硫化物胶结,沿断面及靠近岩脉中央地段的胶结物为绿帘

石—阳起石等角砾状蚀变矿物。

区内主要控矿构造为NW向(320°~340°)穆哈尔断裂带,该断裂带宽约2km,长度为几十千米。穆哈尔断裂带经历了多期构造—流体活动,断裂带中充填上述石英斑岩脉和多金属矿脉。NE向和近EW向断裂在都尔诺特火山岩构造带总体结构中也起着重要作用,它们控制了基底古元古代地层与火山沉积岩地层的发展方向。其中一条近EW向断裂控制了岩脉的产出,岩脉两翼和脉壁上发育宽阔的(200~300m)蚀变带。霏细岩和安山岩—玄武岩底部近EW向破碎带中分布有小规模的脉状多金属矿体。

矿区围岩蚀变较为发育,早期矽卡岩化蚀变主要发育于基岩中,蚀变矿物包括透辉石、磁铁矿,还有少量石榴子石、石英和尖晶石。晚期蚀变围绕石英斑岩脉发育,伴有多金属矿化。与矿化有关的围岩蚀变形成了如下空间分布规律:石英—钾长石化主要分布于岩脉顶端,绿帘石—阳起石化主要分布于岩脉内部,碳酸盐—绿泥石化主要分布于围岩中。围岩蚀变由早至晚为:矽卡岩化→绿帘石—阳起石化→石英—钾长石化→碳酸盐—绿泥石化。方铅矿—闪锌矿化与

绿帘石-阳起石蚀变共生,并伴有石英-萤石矿化。

乌兰多金属矿化主要受石英斑岩脉和断裂控制,对围岩选择性较差,可以发育在不同地质体中,不仅在火山沉积岩层中发育,而且在基岩层中也有所表现。矿化带呈近EW—NW向分布,长900m,宽度在两翼为10~20m,在中央区达到200m,深达700m,仍未尖灭。爆破角砾岩在整个多金属矿化带较为发育,矿脉主要沿爆破角砾岩裂隙进行充填交代,形成由角砾岩中心向外侧块状—脉状矿体的矿化空间分布规律,以块状矿体为主。

据研究^②,矿化可分为3个阶段:高温热液形成矽卡岩化蚀变,中温热液蚀变形成多金属矿矽卡岩—蚀变安山岩相,低温热液蚀变形成铀—石英—萤石及伴生的泥化。S同位素分析结果显示,矿床所有硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-1‰~+4‰。黄铁矿和闪锌矿S同位素特征相似,揭示硫具有一致的深层来源。

2.3 甲乌拉根铅锌矿

甲乌拉根铅锌矿床位于内蒙古呼伦贝尔市新巴尔虎右旗,大地构造上位于得尔布干深断裂西侧北西向的木哈尔—甲乌拉断裂带与甲乌拉火山一次火山岩浆活动带交会处^[4]。

矿区内侏罗纪和白垩纪地层广泛出露,以侏罗纪地层为主,主要有南平组含炭质泥(板)岩、粉砂岩、砂岩和砾岩及塔木兰沟组玄武安山岩、粗面安山岩夹少量火山碎屑岩。塔木兰沟组和南平组为主要赋矿围岩,为矿床的形成提供了部分矿质^[6]。

侵入岩有斜长花岗岩、闪长玢岩、石英斑岩、长石斑岩和花岗斑岩,前者呈岩基位于矿区的东北部,属典型的钙—碱性岩浆岩,其余呈岩墙和岩脉产出,并且具有成群或带分布的特点,其中花岗斑岩和长石斑岩与银铅锌多金属矿化具有密切的空间分布关系。受得尔布干深大断裂和木哈尔断裂多期活化影响,矿区范围内各种产出规模和不同展布方向的断裂破碎带分布广泛,其中以NW向和NNW向张扭性平移断层最为发育,并且是重要的容矿、导矿和控矿构造^[1]。

如前所述,含矿围岩主要为塔木兰沟组安山岩、南平组砂岩及石英斑岩、长石斑岩、花岗斑岩等次火山岩,显示成矿作用对于地层、岩性的选择性不明显。银铅锌矿体大多呈脉状、条带状和透镜状产出。近矿体热液蚀变有硅化、绢云母化、萤石化、绿泥石化和碳酸盐化,其中硅化与银铅锌矿化具有密切的空间分布关系。矿石中金属矿物有方铅矿、

闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿,以及少量磁铁矿、赤铁矿和斑铜矿,银矿物有自然银、辉银矿、银黝铜矿、含银辉铋铅矿、碲银矿、含硫铋铅银矿和硫铋银矿。脉石矿物有石英、萤石、绢云母、绿泥石、伊利石、水白云母和方解石^[1]。

前人^[8]研究结果表明,该矿床S和Pb同位素数值与长石斑岩和花岗斑岩大体相同,并且与典型岩浆热液金属矿床相似。流体包裹体和H—O同位素分析结果同样表明,成矿流体是一种以岩浆水和大气降水为主的混合溶液。甲乌拉矿为燕山期构造—岩浆活动的产物,属于火山一次火山热液型脉状银铅锌矿。

2.4 查干不拉根铅锌矿

查干不拉根铅锌矿与前述甲乌拉铅锌矿相邻,位于甲乌拉铅锌矿南东约7km处,矿区中心坐标为N48°44′41″、E116°20′30″。

矿区范围内出露的地层主要有二叠系和侏罗系火山—沉积岩,其岩石类型与甲乌拉矿区完全相同,除了在矿区中北部出露有斜长花岗岩岩基外,还产出有一系列长英质岩脉(岩墙或岩株),主要岩石类型有石英斑岩、长石斑岩和流纹斑岩。前人^[9]的全岩K—Ar同位素测年结果表明,各类侵入岩的形成时代为136.6~167.5Ma。矿区范围内NW—NNW向和近SN向断层、破碎带分布广泛,其中以NNW向张扭性平移断层最为发育,并且是重要的容矿、导矿和控矿构造。铅锌矿化大都沿砂岩、板岩与流纹岩接触带呈脉状、条带状和透镜状产出,并且与石英斑岩和长石斑岩具有密切的空间分布关系。

与甲乌拉矿床一样,查干不拉根矿床热液蚀变主要出现在含矿破碎带及其围岩中,主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、伊利石化、碳酸盐化和高岭石化,其中硅化和碳酸盐化与银铅锌矿化具有密切的空间分布关系。矿石中金属矿物有毒砂、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿和黄铜矿,银矿物有辉铋铅银矿、银黝铜矿、深红银矿、自然银、硫铋铜银矿、银金矿、角银矿和辉银矿。脉石矿物有石英、萤石、绢云母、绿泥石、绿帘石、伊利石、方解石、高岭石和菱锰矿。

前人^[9]众多研究均表明,查干不拉根矿床与甲乌拉矿床成矿类型相似,均为中低温热液脉型矿床。

3 样品采集及测试方法

3.1 样品采集

样品采集于上述铅锌矿床中。主量、微量及稀

土元素样品类型及含量见表1。对查夫铅锌矿选取花岗闪长岩(样品号M2-4)、乌兰铅锌矿选取英安岩(样品号M1-3)、甲乌拉银铅锌矿选取花岗斑岩(样品号K11j-1)及石英斑岩(样品号K11j-3)、查干不拉根铅锌矿选取绢云母化蚀变岩(样品号K12c-1)及网脉角砾状英安岩(样品号K12c-5)进行锆石U-Th-Pb同位素测定。

3.2 主量、微量和稀土元素测试方法

主量、微量和稀土元素测试在国土资源部东北矿产资源监督检测中心完成,主量元素采用玻璃熔片大型X射线荧光光谱法(XRF)分析,测试温度为24℃,湿度为45%,检测依据参照GB/T14506.28—93;微量和稀土元素分析采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)分析,测试温度为25℃,湿度为65%,检测依据参照DZ/T0223—2001等。

3.3 锆石U-Th-Pb同位素测试方法

精选锆石样品,先将新鲜的岩石样品粉碎至120目以下,用常规的人工淘洗和电磁选方法富集锆石,然后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好、无裂痕和包裹体的锆石颗粒,将其粘贴在环氧树脂表面,打磨抛光后使锆石中心部位暴露出来,然后对其进行透射光、反射光和阴极发光(CL)图像的采集。锆石的制靶、显微图像采集和LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析的详细原理和流程见参考文献[10]。测试结果通过Glitter软件计算得出。实验获得的数据采用Andersen^[11]的方法进行同位素比值的校正以扣除普通Pb的影响,锆石U-Pb谐和图的绘制采用Isoplot 3.0^[12]完成。单个分析点的同位素比值和同位素年龄的误差(标准偏差)为1 σ 。LA-ICP-MS锆石U-Pb分析结果见表2。

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素

查夫铅锌矿床选取与成矿关系密切的M2-4、M2-5、M2-6、M2-7、M2-8、M2-9进行主量元素测定,随岩性由中性—中酸性—酸性变化,SiO₂含量可分为3个区间:58.25%、62.06%~62.27%和69.67%~72.23%。 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ =3.62%~7.61%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ =0.04%~2.55%, Al_2O_3 含量为11.15%~16.88%,显示偏中性、贫碱、中铝特征。与此同时,确定M2-6、M2-8向酸性过渡的趋势。在TAS图解上,样品属于亚碱性系列(图2)。

乌兰铅锌矿床M1-3样品石英斑岩SiO₂含量为76.01%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ =8.23%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ =0.52%, Al_2O_3 含量为12.44%,显示富硅、中碱、中铝特征(图3)。

甲乌拉银铅锌矿床选取与成矿关系密切的K11j-1、K11j-2、K11j-3、K11j-7、K11j-8进行主量元素分析,岩石在TAS图解上明显可分为2组,即由K11j-1、K11j-2构成的富硅、富碱样品亚组1与由K11j-7、K11j-8构成的贫硅、富碱样品亚组2。其中,K11j-2杂砂岩有可能是中酸性火成岩风化沉积的产物,亚组1属于亚碱性系列,亚组2属于碱性系列。K11j-3在SiO₂-($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)关系图解中与M1-3几乎重合,表明了二者的相似性。

查干不拉根铅锌矿K12c-5样品为网脉角砾状英安岩,存在矿化现象。在TAS图解上落入英安岩区间,属于亚碱性系列。K12c-1样品富硅、贫碱,有可能与热液蚀变过程中硅化和K、Na质析出相关。

4.2 微量元素

在微量元素蛛网图(图4)中,查夫铅锌矿床除M2-2闪锌矿脉样品严重亏损Ba、Rb外,其余样品具有相似的微量元素分布模式,明显亏损Li、Sr,富集Ba、Th、Ce、Zr、Ta等元素。乌兰铅锌矿床样品主要为矿化岩石及蚀变岩石,微量元素分布模式具有相似性,体现了石英斑岩与成矿的密切关系,仅有绿帘石脉严重亏损Ba元素,富集高场强元素Ta。甲乌拉银铅锌矿床围岩微量元素分布模式具有相似性,亏损Cs、Rb、Li、Sr、Y,富集Ba、Th。与矿相关的样品由于成矿富集作用,微量元素整体含量较围岩偏小,矿化石英脉样品富集Li元素。查干不拉根铅锌矿样品微量元素具有高度相似性,明显亏损Ba、Li、Sr,富集Th、Ce、Zr等元素。

4.3 稀土元素

查夫铅锌矿床含矿围岩稀土元素总量(ΣREE)为 118×10^{-6} ~ 325×10^{-6} ,轻、重稀土元素分馏不明显[(La/Yb)_N=5.42~11.84],具有较为明显的负Eu异常(δEu =0.43~0.63)。矿石样品M2-2出现明显的正Eu异常(δEu =4.44),M2-10则相对富集重稀土元素,体现了一定差异性。乌兰铅锌矿床岩石具有相似的稀土元素配分模式,稀土元素总量(ΣREE)为 133×10^{-6} ~ 426×10^{-6} ,轻、重稀土元素分馏明显[(La/Yb)_N=5.68~41.56],具有明显的负Eu异常(δEu =0.07~0.28)。甲乌拉银铅锌矿床围岩稀土元素总量(ΣREE)为 150×10^{-6} ~ 331×10^{-6} ,轻、重稀土

表1 样品主量、微量和稀土元素含量
Table 1 Characteristic values of major , trace and rare earth elements

样品号	M2-2	M2-4	M2-5	M2-6	M2-7	M2-8	M2-9	M2-10	M1-1	M1-2	M1-3	M1-4	M1-5	M1-6	K11j-1	K11j-2	K11j-3	K11j-4	K11j-7	K11j-8	K11j-9	K12c-9	K12c-5
岩性	闪长岩	花岗岩	安山岩	黄铁矿化晶屑凝灰岩	花岗岩	晶屑凝灰岩	花岗岩	方铅矿	方铅矿	闪长岩	石英斑岩	石英斑岩	石英斑岩	石英斑岩	流纹斑岩	杂砂岩	石英斑岩	铅锌矿	安山岩	蚀变安山岩	矿化石英脉	绢云母化蚀变岩	网脉角砾状英安岩
Na ₂ O	-	2.35	4.84	0.16	4.06	0.17	2.16	-	-	-	2.81	-	-	-	3.79	4.22	3.7	-	4.43	4.56	-	0.09	1.81
MgO	-	0.97	2.86	0.82	2.4	0.57	1.46	-	-	-	0.06	-	-	-	0.63	1.66	0.25	-	2.7	6.15	-	0.65	0.34
Al ₂ O ₃	-	15.61	15.33	13.64	15.55	11.15	16.88	-	-	-	12.44	-	-	-	14.87	15.45	12.2	-	17.42	16.2	-	14.91	9.06
SiO ₂	-	62.27	58.25	69.67	62.18	72.23	62.06	-	-	-	76.01	-	-	-	68.48	65.82	76.1	-	49.39	48.26	-	75.54	65.82
P ₂ O ₅	-	0.22	0.43	0.09	0.15	0.12	0.25	-	-	-	0.013	-	-	-	0.1	0.17	0.04	-	0.53	0.46	-	0.04	0.04
K ₂ O	-	4.66	1.9	4.13	2.58	3.45	3.9	-	-	-	5.42	-	-	-	5.77	3.75	4.86	-	2.36	1.29	-	4.37	2.6
CaO	-	3.71	4.14	0.3	4.64	0.33	2.45	-	-	-	0.15	-	-	-	0.93	1.25	0.78	-	5.78	4.38	-	0.05	0.05
TiO ₂	-	0.7	1.12	0.49	0.73	0.55	0.82	-	-	-	0.16	-	-	-	0.44	0.65	0.19	-	1.59	1.65	-	0.29	0.29
MnO	-	0.44	0.18	0.1	0.13	0.15	0.25	-	-	-	0.02	-	-	-	0.07	0.09	0.02	-	0.12	0.18	-	0.01	0.02
TFe ₂ O ₃	-	5.48	7.36	5.59	6.57	6.49	4.57	-	-	-	1.41	-	-	-	3.11	4.93	1.32	-	11.91	10.58	-	1.3	6
FeO	-	1.53	3.68	0.49	3.45	0.59	0.92	-	-	-	0.27	-	-	-	1.85	3.4	0.74	-	2.14	7.1	-	0.65	1.2
LOI	-	3.34	3.33	4.74	0.85	4.55	4.95	-	-	-	1.26	-	-	-	1.54	1.76	0.34	-	3.62	6.08	-	2.64	5
Ba	9	457	365	500	458	212	584	-	285	53	32.6	135	0.1*	567	552	790	171	7.4	496	943	23	80.1	51.6
Co	6.5	0.24	8.83	1.44	12.1	7.61	3.3	-	33.5	21.3	0.14	7.87	95.2	69.1	0.58	2.51	1.59	9.2	31	33.9	2.16	2.87	12.6
Cr	4	14.3	34.3	13.2	26.3	17.7	16	-	4.67	3.87	12.8	4.72	6.07	10.8	16.7	23.7	22.3	5.01	310	139	7.53	9.06	11.5
Nb	0.82	16.4	8	17.5	8.3	7.39	20.4	-	18	34.9	37.8	11	49.3	14.2	22.1	11.3	10.7	1.57	9.6	11.1	1.68	4.13	17.1
Ni	4.73	23.4	31.5	3.46	9.49	3.92	4.57	-	8.31	33.9	2.82	14.5	28.2	5.97	27.5	64.2	331	17.3	160	70.4	4.81	11.8	9.4
Rb	2.9	367	89.8	173	82.7	202	274	-	306	39.1	217	29.6	140	79.1	202	154	197	5.6	129	48.5	0.9	208	189
Sr	11	216	333	25.5	301	15.6	82.1	-	37.5	520	36.8	51.9	133	31.7	117	327	69.2	14.6	849	366	17.4	20.1	8
V	1.8	32.4	100	21.4	93.2	71.2	50.6	-	73.5	1.6	4.1	1.2	1.4	3.1	24.6	82.8	143	26.1	145	223	2.2	16.2	30.5
Zr	55.3	278	214	362	219	127	389	-	85.9	159	427	107	138	134	420	248	133	50.5	246	239	20.2	323	129
Li	18.5	13.2	86.5	7.66	19.6	31	55.6	-	16.5	4.45	28.1	30.4	21.1	53.7	16.3	42.5	33.5	9.6	38.9	106	69.3	22.3	30.8
Cs	3.31	56.3	40.8	20.3	7.52	29.9	43.4	-	3.4	53.5	7.36	1.83	4.11	3.36	6.97	7.42	12.3	1.24	29.1	4.96	0.18	29.6	12.2
Th	2.01	2.22	6.12	3.4	9.11	6.78	8.31	-	10.7	19.4	13.4	7.81	12.3	7.21	15.8	8.84	16.1	4.1	12.3	7.26	0.24	8.93	4.06
Ga	2.19	13.2	21.2	11	21	15.1	20.3	-	8.68	17.9	15.5	4.99	22.1	14	24.6	19.3	16.4	5.16	21.7	16.8	0.71	10.1	6.25
Sc	1.43	8.97	20.6	4.58	15.9	11.1	13.2	-	1.87	1.65	1.64	1.28	2.7	1.15	5.66	9.33	2.4	0.95	27.1	28.7	0.43	5.67	4.08
Hf	1.41	6.72	5.31	10	6.31	4.03	5.7	-	5.48	9.74	13	3.17	8.22	4.65	7.43	4.97	4.52	2.28	6.58	7.87	0.83	8.87	5.63
Ta	0.13	0.78	2.53	6.99	0.53	0.48	0.9	-	2.44	2.05	2.69	0.68	38.7	1.71	1.76	1.19	1.03	0.15	2.75	0.76	0.1	0.96	0.42
Y	10.2	18.1	20.8	32.6	78.1	17.7	28.9	14.4	23.7	26.3	17.5	20.7	31.6	10	41.8	15.9	8.3	2.6	26	23.4	0.6	33.2	18.6
La	6.1	29.2	21.6	41.6	26.9	28.9	61.9	1.4	42.6	106	30.5	23	136	26.2	73.3	31.5	36.9	1.1	60.3	48.6	1	53.8	27.4
Ce	11.1	68	50.3	96.1	59.3	43	136	2.9	100	110	94	54.4	137	59.8	88	65.8	71.4	3.9	138	116	2.9	102	55.4
Pr	1.56	7.86	6.18	11.36	6.93	5.07	16.44	0.34	11.77	20.65	8.45	6.09	25.1	6.72	19.82	7.97	6.81	0.24	17.06	13.87	0.22	14	7.39
Nd	6.83	31.69	24.6	43.51	26.49	19.38	62	1.42	40.71	70.47	27.31	21.89	84.81	23.43	76.35	30.46	20.92	1.06	68.01	55.21	0.8	52.9	29.3
Sm	2.2	6.84	5.26	8.47	5.35	4.06	12.19	0.68	7.65	12.23	4.88	4.34	12.96	4.29	14.55	5.72	3.18	0.2	13.26	10.68	0.17	9.45	5.37
Eu	3.06	1.31	0.86	1.15	0.9	0.69	1.67	0.2	0.51	0.26	0.35	0.19	0.4	0.36	1.23	1.52	0.45	0.36	1.95	1.92	0.35	1.3	0.99
Gd	2.01	5.87	4.71	7.58	4.87	3.8	10.54	1.21	6.7	11.01	4.4	3.82	12.31	3.73	12.01	4.81	3.2	0.21	10.54	8.54	0.15	6.91	4
Tb	0.42	1	0.8	1.36	0.88	0.7	1.7	0.44	1.04	1.62	0.72	0.67	1.46	0.56	1.83	0.77	0.43	0.04	1.63	1.4	0.03	1.3	0.74
Dy	2.36	5.01	5.18	7.94	5.2	4.12	8.84	3.62	5.3	7.55	4.42	3.87	5.97	2.75	9.66	4.2	1.97	0.31	7.55	6.74	0.15	7.94	4.38
Ho	0.35	0.78	0.89	1.38	0.9	0.72	1.35	0.63	0.85	1.16	0.82	0.68	0.86	0.43	1.52	0.7	0.33	0.06	1.15	1.08	0.02	1.65	0.89
Er	1.99	4.95	5.83	9.29	6.11	4.82	8.62	3.78	5.96	7.92	6.33	4.49	5.97	2.99	9.63	4.84	2.44	0.47	7.6	7.18	0.23	4.92	2.66
Tm	0.13	0.29	0.38	0.62	0.42	0.33	0.51	0.26	0.38	0.48	0.48	0.29	0.31	0.19	0.57	0.32	0.16	0.03	0.44	0.43	0.01	0.79	0.42
Yb	0.86	2.2	2.85	4.87	3.28	2.44	3.75	1.9	2.89	3.84	3.85	2.17	2.35	1.47	4.01	2.44	1.31	0.16	3.3	3.26	0.07	4.69	2.57
Lu	0.11	0.3	0.39	0.68	0.46	0.35	0.48	0.23	0.39	0.5	0.53	0.26	0.31	0.19	0.54	0.34	0.19	0.02	0.45	0.45	0.01	0.82	0.46

注:主量元素含量单位为%,微量和稀土元素为10⁻⁶,加*数据为小于检出限的测定值,供参考

表 2 研究区铅锌矿床部分岩石样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄数据

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of samples from lead-zinc deposits in the study area

样品 编号	点号	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
			比值	误差/ 1σ	比值	误差/ 1σ	比值	误差/ 1σ	年龄/Ma	误差/ 1σ	年龄/Ma	误差/ 1σ	年龄/Ma	误差/ 1σ
M2-4	1	0.98	0.05281	0.00151	0.26352	0.00805	0.03589	0.00072	321	64	238	6	227	4
	3	0.76	0.05102	0.00126	0.25537	0.00654	0.03676	0.00072	242	56	231	5	233	4
	10	0.57	0.05235	0.00139	0.27532	0.00776	0.03788	0.00075	301	59	247	6	240	5
	11	0.87	0.05244	0.00146	0.25625	0.00763	0.03590	0.00072	305	2	232	6	227	4
	15	0.77	0.05085	0.00122	0.27729	0.00689	0.03906	0.00076	234	54	249	5	247	5
	20	0.70	0.05165	0.00129	0.28196	0.00742	0.03948	0.00077	269.8	56	252	6	250	5
	27	0.56	0.05302	0.00118	0.26050	0.00585	0.03772	0.00072	330	49	235	5	239	5
	33	0.64	0.05169	0.00166	0.25626	0.00903	0.03678	0.00075	272	72	232	7	233	5
M1-3	2	0.53	0.04753	0.00902	0.17045	0.03214	0.02603	0.00064	76	306	160	28	166	4
	8	0.76	0.04922	0.00441	0.17380	0.01541	0.02563	0.00047	158	165	163	13	163	3
	9	0.42	0.04998	0.00480	0.17612	0.01674	0.02558	0.00046	194	181	165	14	163	3
	12	0.49	0.05183	0.00302	0.17846	0.01025	0.02499	0.00038	278	104	167	9	159	2
	15	0.65	0.04811	0.00941	0.17191	0.03344	0.02594	0.00063	105	318	161	29	165	4
	20	0.87	0.05111	0.00522	0.17869	0.01813	0.02537	0.00042	246	199	167	16	162	3
	23	0.76	0.05006	0.00847	0.17705	0.02977	0.02567	0.00057	198	299	166	26	163	4
	30	0.56	0.04919	0.00494	0.17528	0.01736	0.02586	0.00055	157	182	164	15	165	3
K11j-1	2	0.59	0.04906	0.00231	0.13887	0.00693	0.02069	0.00049	151	132	132	130	132	3
	7	1.01	0.05032	0.00121	0.13980	0.00345	0.02046	0.00041	210	55	133	3	131	3
	10	0.75	0.05030	0.00139	0.13934	0.00398	0.02053	0.00042	209	63	133	4	131	3
	13	0.86	0.04934	0.00244	0.14445	0.00751	0.02101	0.00048	164	112	137	7	134	3
	18	0.76	0.05443	0.00278	0.15951	0.00863	0.02072	0.00049	389	110	150	8	132	3
	25	1.01	0.04873	0.00107	0.13749	0.00304	0.02062	0.00041	135	51	131	3	132	3
	31	0.87	0.05055	0.00503	0.13924	0.01462	0.02070	0.00067	220	215	132	13	132	4
	34	0.66	0.04791	0.00380	0.13694	0.0115	0.02040	0.00058	94	179	130	10	130	4
K11j-3	2	0.97	0.04997	0.00162	0.15948	0.00547	0.02349	0.00051	194	74	150	5	150	3
	5	1.12	0.05180	0.00134	0.15927	0.0043	0.02356	0.00049	277	58	150	4	150	3
	7	0.99	0.05012	0.00112	0.15924	0.00366	0.02356	0.00048	201	51	150	3	150	3
	8	0.87	0.04828	0.00131	0.15506	0.00441	0.02405	0.0005	113	63	146	4	153	3
	14	0.68	0.04866	0.00119	0.15968	0.00407	0.02399	0.00049	131	57	150	4	153	3
	21	1.02	0.04895	0.00105	0.15861	0.00346	0.02363	0.00048	145	49	150	3	151	3
	29	0.98	0.04907	0.00169	0.15855	0.00579	0.02383	0.00051	151	79	149	5	152	3
	33	0.86	0.04904	0.00103	0.15926	0.00339	0.02384	0.00048	150	49	150	3	152	3
K12c-1	5	0.56	0.04605	0.01047	0.18716	0.04240	0.02948	0.00054	196	275	174	36	187	3
	8	0.76	0.04958	0.00561	0.20792	0.02334	0.03042	0.00059	185	216	192	20	193	4
	10	0.76	0.04605	0.00339	0.18723	0.01322	0.02949	0.00060	192	163	174	11	187	4
	11	0.86	0.04605	0.00891	0.17824	0.03427	0.02808	0.00063	200	131	167	30	178	4
	12	0.73	0.04605	0.00485	0.20427	0.02126	0.03217	0.00052	221	214	189	18	204	3
	18	0.97	0.04605	0.01118	0.19105	0.04623	0.03009	0.00060	182	196	178	39	191	4
	19	0.67	0.05028	0.00423	0.22627	0.01871	0.03264	0.00065	208	150	207	15	207	4
	21	0.85	0.04605	0.01239	0.18685	0.05015	0.02943	0.00055	187	239	174	43	187	3
K12c-5	5	0.56	0.04953	0.01009	0.20317	0.04068	0.02975	0.00137	173	310	188	34	189	2
	8	0.68	0.05089	0.00303	0.21334	0.01258	0.03041	0.00072	236	92	196	11	193	5
	10	0.63	0.04709	0.00387	0.20452	0.01660	0.0315	0.00081	54	130	189	14	200	5
	11	0.87	0.04838	0.00287	0.20196	0.01183	0.03028	0.00074	118	88	187	10	192	5
	13	0.76	0.04818	0.00686	0.19519	0.02746	0.02938	0.00095	108	237	181	23	187	6
	15	0.78	0.05042	0.00353	0.20893	0.01448	0.03005	0.00073	214	114	193	12	191	5
	18	0.97	0.05058	0.00602	0.21200	0.02487	0.03040	0.00094	222	207	195	21	193	2
	19	0.75	0.05185	0.00681	0.21788	0.02810	0.03048	0.00106	279	226	200	23	194	3

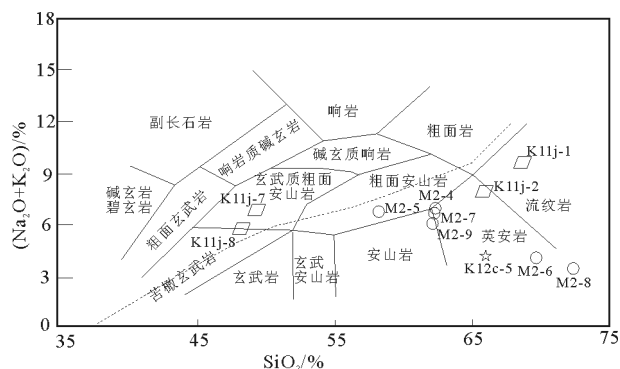


图2 研究区铅锌矿床岩石 TAS 图解

Fig. 2 TAS diagram of rocks in lead-zinc deposits

元素分馏不明显 $[(La/Yb)_N=9.25\sim 20.23]$,具有较为明显的负 Eu 异常($\delta Eu=0.29\sim 0.89$)。矿石样品 K11j-4、K11j-9 稀土元素总量较低,整体配分模式与围岩相似,均出现明显的正 Eu 异常(δEu 为 5.47 和 6.81)。查干不拉根铅锌矿床 2 个样品均为蚀变矿化围岩,稀土元素配分模式具有高度一致性。稀土元素总量($\sum REE$)为 $160.5\times 10^{-6}\sim 295.8\times 10^{-6}$,轻、重稀土元素分馏不明显 $[(La/Yb)_N=7.66\sim 8.22]$,具有较为明显的负 Eu 异常($\delta Eu=0.49\sim 0.65$)(图 5)。

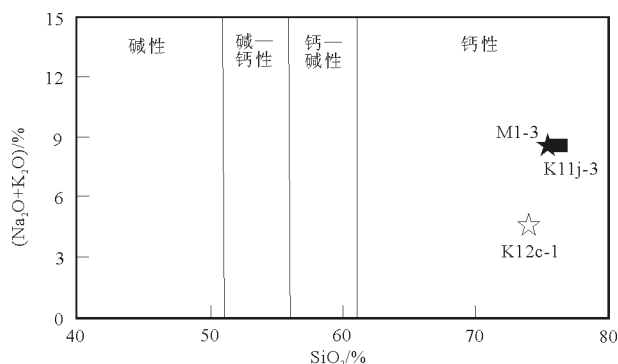
5 锆石 U-Pb 年龄

在查夫、乌兰、查干不拉根铅锌矿床和甲乌拉银铅锌矿床选取的 6 个样品的锆石粒度变化较大(40~200 μm)。锆石阴极发光(CL)图像显示,其内部结构复杂,既有发育振荡生长环带的粒状或短柱状锆石,也有长柱状或板状锆石,还有少数锆石不发光(图 6)。它们的 Th/U 值介于 0.42~1.12 之间,暗示岩浆成因特征。

样品 M2-4 为花岗闪长岩,24 个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $223\pm 4\sim 257\pm 5Ma$ 之间,年龄加权平均值为 $238\pm 4Ma$ (MSWD=3.8),表明花岗闪长岩的形成时代为中—晚三叠世。

样品 M1-3 为石英斑岩,24 个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $159\pm 2\sim 168\pm 4Ma$ 之间,年龄加权平均值为 $162\pm 1Ma$ (MSWD=3.0),表明石英斑岩的形成时代为晚侏罗世。

样品 K11j-1 为花岗斑岩,20 个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $130\pm 4\sim 135\pm 3Ma$ 之间,年龄加权平均值为 $132\pm 1Ma$ (MSWD=0.27),表明花岗斑岩的形成

图3 研究区铅锌矿床岩石 $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ 关系图Fig. 3 $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ correlation diagram of rocks in lead-zinc deposits

时代为早白垩世。

样品 K11j-3 为石英斑岩,28 个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $148\pm 3\sim 153\pm 3Ma$ 之间,年龄加权平均值为 $151\pm 1Ma$ (MSWD=0.12),表明石英斑岩的形成时代为晚侏罗世。

样品 K12c-1 为绢云母化蚀变岩,24 个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $173\pm 7\sim 212\pm 8Ma$ 之间,年龄加权平均值为 $191\pm 4Ma$ (MSWD=4.4),表明该蚀变岩原岩的形成时代为早侏罗世。

样品 K12c-5 为网脉角砾状英安岩,19 个测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $187\pm 6\sim 220\pm 6Ma$ 之间,年龄加权平均值为 $192\pm 4Ma$ (MSWD=0.71),表明英安岩的形成时代为早侏罗世(图 7)。

6 讨论

上述铅锌矿床大多数样品均属亚碱性系列,仅样品 K11j-7(安山岩)与 K11j-8(蚀变安山岩)具有碱性特征,揭示了区域火山岩形成的构造环境可能为主体挤压环境与局部拉伸状态并存的特征,并具有自北西向南东由挤压环境转为拉伸环境的趋势。微量元素整体特征具有相似性,均亏损 Rb、Li、Sr、Y,富集 Th、Zr、Ta,表明有可能为同一构造岩浆演化条件下的产物。其中,矿石类样品亏损 Ba,与之形成鲜明对比的是围岩类样品富集 Ba、Ce。乌兰铅锌矿具有明显的 δEu 负异常,其他 3 个铅锌矿则具较弱负异常,表明乌兰铅锌矿较其他三者分异度高,经历了广泛的交代作用及多阶段分离结晶过程;与此同时,乌兰铅锌矿轻、重稀土元素分馏较为明显 $[(La/Yb)_N=5.68\sim 41.56]$,其余三者分馏程度则

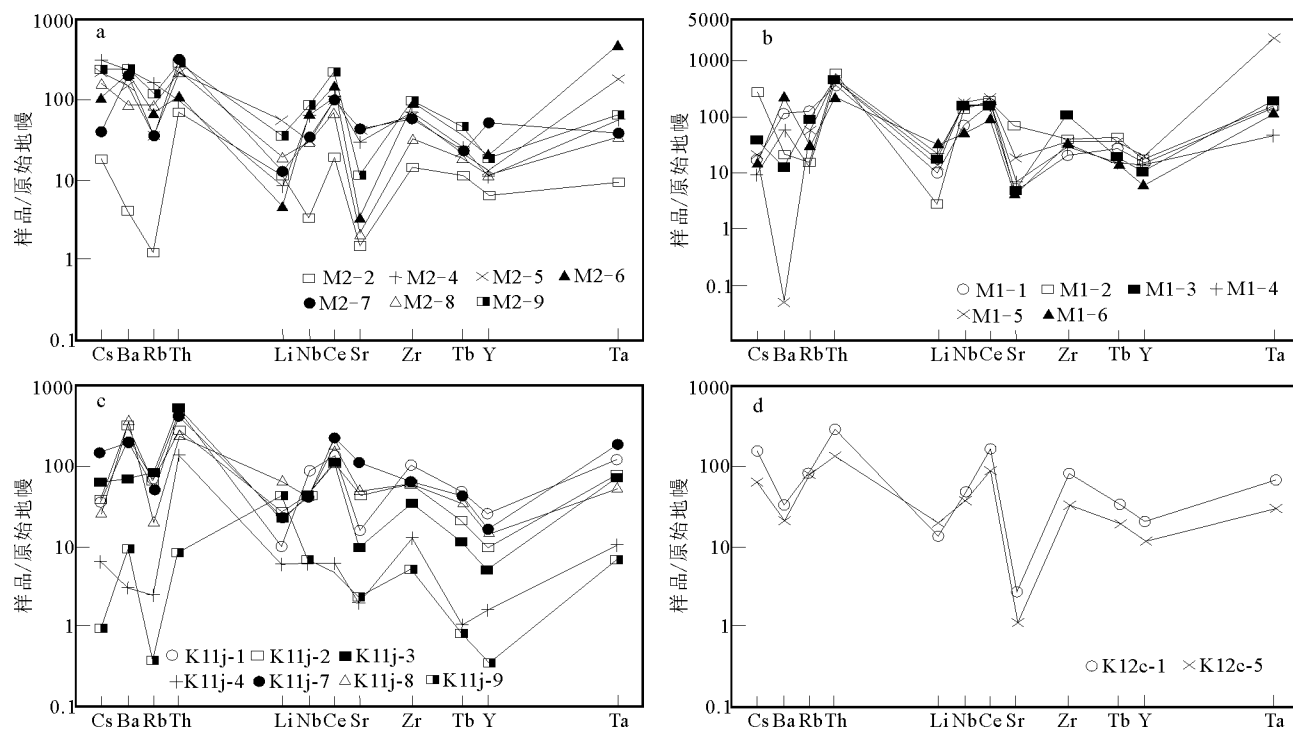


图4 研究区铅锌矿床岩石微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spider diagrams of rocks in lead-zinc deposits

a—查夫铅锌矿; b—乌兰铅锌矿; c—甲乌拉银铅锌矿; d—查干不拉根铅锌矿

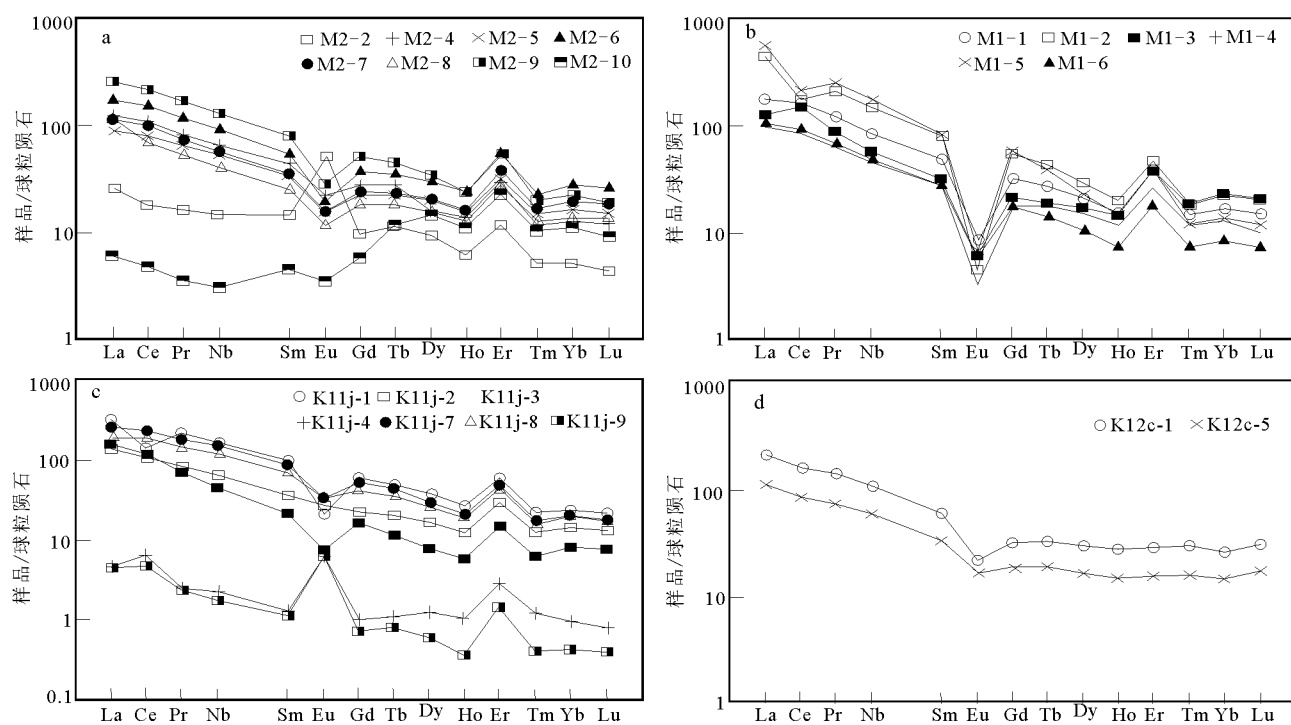


图5 研究区铅锌矿床岩石稀土元素球粒陨石标准化配分图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of rocks in lead-zinc deposits

a—查夫铅锌矿; b—乌兰铅锌矿; c—甲乌拉银铅锌矿; d—查干不拉根铅锌矿

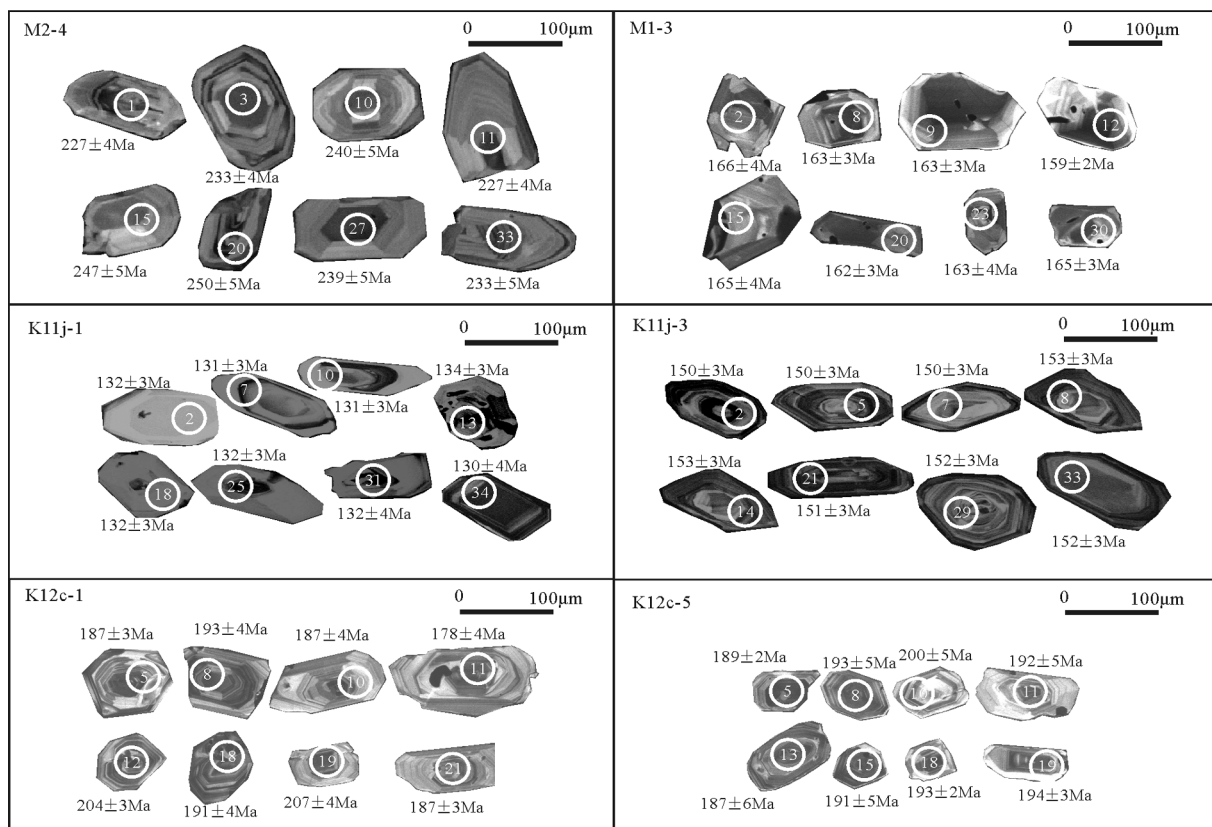


图6 研究区铅锌矿床部分岩石样品锆石阴极发光图像

Fig. 6 CL images of selected zircons from rocks of lead-zinc deposits in the study area

较低($(La/Yb)_N=5.42\sim20.23$)。以上特征均表明,乌兰铅锌矿床岩浆演化程度较深,与其他3个铅锌矿不同。值得注意的是,查夫铅锌矿与甲乌拉银铅锌矿的矿石样品均出现了 δEu 正异常,可能与矿化过程中长石化作用相关^[14]。

据研究^[1],华—蒙块体与西伯利亚板块碰撞对接的时间发生在晚侏罗世,强烈的陆—陆碰撞导致华—蒙块体地壳加厚,此后地壳拆沉作用使得研究区内产生一系列拉张性质断裂及与其相伴生的岩浆火山作用。乌兰铅锌矿位于挤压活动强烈部位(鄂霍次克造山带),具有自身的岩浆演化特征,具体表现为明显的负Eu异常及轻、重稀土元素分馏较为明显。查夫铅锌矿、甲乌拉银铅锌矿、查干不拉根铅锌矿属于同一矿田,在成矿特征、岩石地球化学特征等方面具有明显相似性。随着构造环境的演变(鄂霍次克造山带—额尔古纳地块—海拉尔盆地),构造应力性质表现为由挤压转向拉伸,因而甲

乌拉矿床中出现碱性火山岩系列可以得到解释。锆石测年数据集中于3个时间段:中—晚三叠世(T_2-T_3)、早侏罗世(J_1)、晚侏罗世—早白垩世(J_3-K_1)。笔者认为,本次研究测得的查夫铅锌矿中花岗闪长岩的年龄 $238\pm4Ma$ 应代表早期花岗岩基的形成时代,与成矿关系不大。与成矿关系密切的应为查夫—巴彦努尔杂岩体中的岩石类型,如其中黑云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年龄为 $135\pm2Ma$ 的花岗岩^[15-16]。查干不拉根铅锌矿测年结果为 $191\pm4Ma$ 与 $192\pm4Ma$,岩石类型分别为绢云母化蚀变岩与网脉角砾状英安岩,应代表早期蚀变阶段年龄。乌兰铅锌矿与甲乌拉银铅锌矿的测年样品均为与成矿关系最为密切的次火山岩—石英斑岩和花岗斑岩,锆石测年结果集中于晚侏罗世—早白垩世,该年龄应代表成矿年龄。可见,成矿年龄与早期蚀变年龄之间存在30~60Ma的时间差。

晚侏罗世—早白垩世,受上部地壳重力塌陷、中—下地壳热软化和韧性流变效应的影响,研究

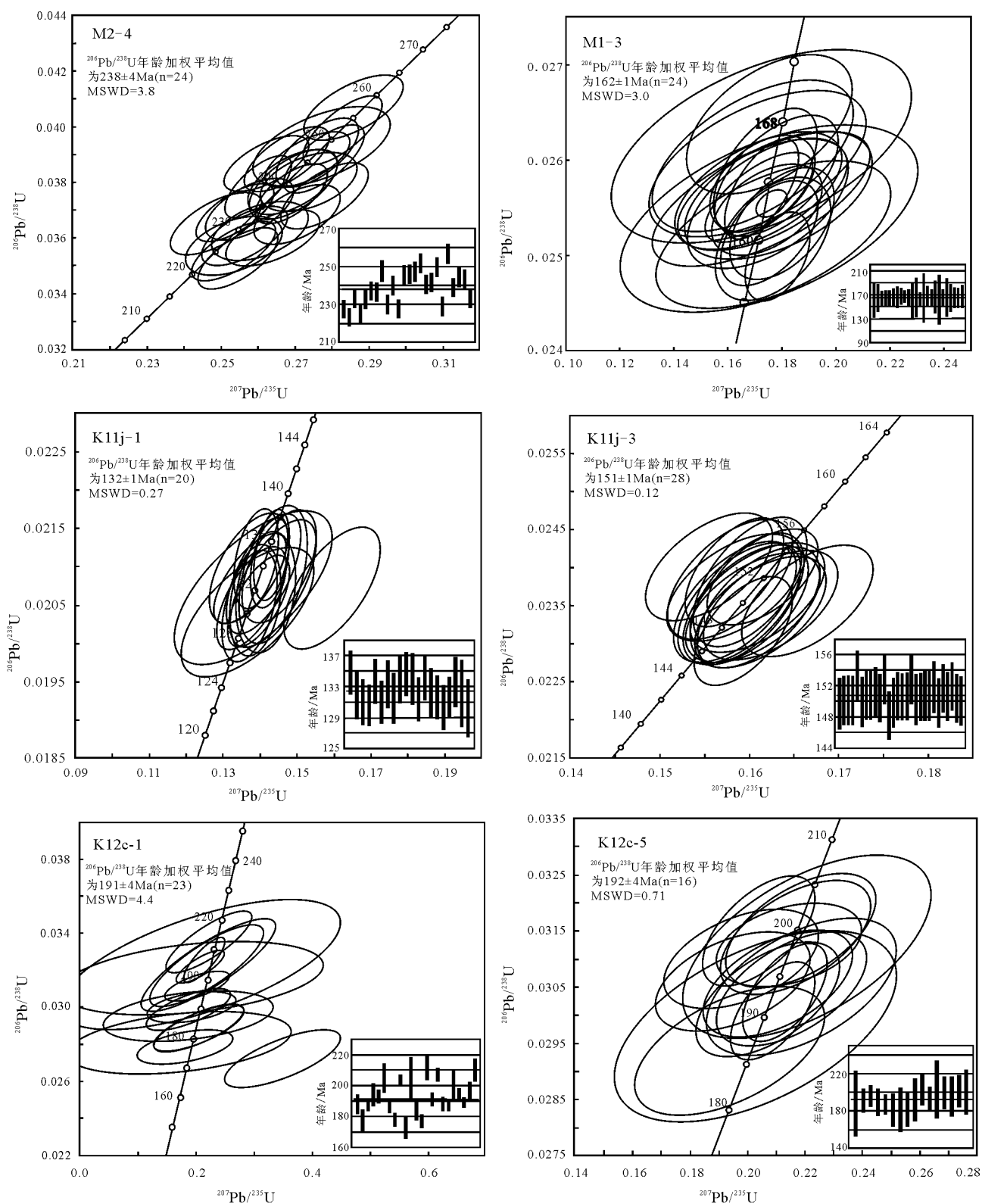


图7 研究区铅锌矿床部分岩石样品锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 7 U-Pb concordia diagrams of rocks in lead-zinc deposits

区开始从挤压状态转变为拉张状态,大量正断层、拆离断层、断陷盆地及变质核杂岩的出现即是很好的例证。研究表明,重力滑塌(gravitational collapse)作用形成的张性构造形迹,为深源岩浆和热水溶液活动提供了有利通道。同时,产生的高热流值为中、下地壳进一步加热软化和韧性流变提供了热力来源^[17-19]。上述岩浆及相关流体可沿特定通道上侵(涌),并在构造有利部位形成侵入岩脉群和铅锌矿床。综合研究区铅锌矿床的地质特征、岩石地球化学特征及测年结果认为,上述铅锌矿床均为晚侏罗世—早白垩世拉张环境下的次火山热液型铅锌矿。只是由于构造位置差异性,导致乌兰铅锌矿分馏演化程度较大。

7 结 论

通过对中蒙克鲁伦—满洲里成矿带内查夫、乌兰、查干不拉根铅锌矿床和甲乌拉银铅锌矿床地质特征、岩石地球化学特征及锆石测年的研究,可以得出以下结论。

(1)上述铅锌矿床与成矿相关的火山岩—一次火山岩—侵入岩大多属亚碱性系列,自北西向南东有向碱性系列过渡的趋势,其原因可能与构造演化部位的性质不同相关。

(2)微量元素分布模式具有相似性,均亏损Rb、Li、Sr、Y,富集Th、Zr、Ta,表明有可能为同一构造岩浆演化下的产物。乌兰铅锌矿具有明显的 δEu 负异常,其他3个铅锌矿则具较弱负异常。与此同时,乌兰铅锌矿轻、重稀土元素分馏较为明显,其余三者分馏程度则较低,以上特征均表明乌兰铅锌矿床岩浆演化程度较深。查夫铅锌矿与甲乌拉银铅锌矿的矿石样品均出现 δEu 正异常,可能与矿化过程中长石化作用相关。

(3)锆石测年数据结果集中于3个时间段: T_2 — T_3 、 J_1 和 J_3 — K_1 ,其中 J_3 — K_1 应代表成矿年龄。

(4)综合上述铅锌矿床地质特征、岩石地球化学特征及测年结果,笔者认为上述铅锌矿床均为形成于 J_3 — K_1 拉伸环境下的次火山热液型铅锌矿,只是由于构造位置差异性,导致乌兰铅锌矿分馏演化程度较大。

参考文献

- [1] 聂凤军, 刘勇, 刘翼飞, 等. 中蒙边境查夫—甲乌拉地区中生代银多金属矿床成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1715–1725.
- [2] 曹宏经, 周平. 查夫矿床的含矿构造(东蒙古)[J]. 国外铀金地质,

- 1996, 13(1): 58–65.
- [3] 解成波, 刘明. 查干不拉根银铅锌(金)矿床地质特征及成因类型[J]. 世界地质, 2001, 20(1): 25–29.
- [4] 双宝, 葛玉琦, 刘继贤. 内蒙古呼盟地区甲乌拉银铅锌矿床流体包裹体与成矿的关系[J]. 吉林地质, 2009, 28(2): 32–35.
- [5] 曾令平. 甲乌拉银铅锌矿床地质特征及成矿控制探讨[J]. 有色金属(矿山部分), 2010, 62(3): 34–39.
- [6] 翟德高, 王建平, 刘家军, 等. 内蒙古甲乌拉银多金属矿床成矿流体演化与成矿机制分析[J]. 矿物岩石, 2010, 30(2): 68–76.
- [7] 翟德高, 刘家军, 王建平, 等. 内蒙古甲乌拉大型Pb–Zn–Ag矿床稳定同位素地球化学研究[J]. 地学前缘, 2013, 20(2): 213–225.
- [8] 余洪全, 李红红, 李进文, 等. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1456–1472.
- [9] 武广, 糜梅, 高峰军, 等. 满洲里地区银铅锌矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 239–255.
- [10] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U–Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Geostandard Newsletter: The journal of Geostandards and Geoanalysis, 2004, 28: 353–370.
- [11] Andersen T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59–79.
- [12] Ludwig K R. Users manual for Isoplot/Ex(rev. 2. 49): a geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2001, No. 1a: 55.
- [13] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London: Special Publication, 1989, 42: 313–345.
- [14] 任耀武. 稀土元素演化特征及应用[J]. 河南地质, 1998, 16(4): 303–308.
- [15] Gantumur H, Batulzii D, Wang L J, et al. Tsav: a shoshonite-hosted intermediate sulfidation epithermal Ag–Pb–Zn deposits, Eastern Mongolia[C]//Mao J W, Bierlein F B. Mineral deposit research: meeting the global challenge, Bertin Heideberg: Springer, 2005: 389–392.
- [16] Ministry of Industry and Trade, Mongolia(MITM). Mongolia: Investors' Forum 2002[C]//Internal Mining and Oil Industry Information Bulletin, 2002: 1–350.
- [17] Meng Q R. What drove Late Mesozoic extension of the northern China–Mongolia tract?[J]. Tectonophysics, 2003, 369: 155–174.
- [18] Ren J S, Wang Z X, Chen B W, et al. The tectonics of China from a global view: a guide to the tectonic map of China and adjacent regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1–32.
- [19] 洪大卫, 王式光, 谢锡林, 等. 兴安造山带正 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. 地学前缘, 2000, 7(2): 441–456.
- ① Мельников В И, Долгор Я, Мазилев Е В, 等. 查夫银共生金属矿区(蒙古东部). 蒙古: 乔巴山市, 1991.
- ② 山东正元地质资源勘查有限责任公司. 蒙古国东方省乌兰铅锌矿施工设计书. 蒙古: 东方省, 2009.