

张璟, 邵军, 鲍庆中, 等. 蒙古国乌兰铅锌矿地质特征、岩石地球化学特征及U-Pb年龄[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1124-1135.

Zhang Jing, Shao Jun, Bao Qingzhong, et al. Geological and rock geochemical characteristics and U-Pb age of the Ullan lead-zinc deposit in Mongolia[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1124-1135(in Chinese with English abstract).

蒙古国乌兰铅锌矿地质特征、岩石地球化学特征 及U-Pb年龄

张璟 邵军 鲍庆中 周永恒 王宏博

(中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要:蒙古国乌兰铅锌矿与查夫、甲乌拉、查干不拉根铅锌矿共同构成了中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿矿集区。本文从含矿地层、控矿构造、赋矿岩脉、围岩蚀变特征、矿体特征等方面对该矿床地质特征展开阐述。样品岩石地球化学特征研究表明: 乌兰铅锌矿容矿围岩为一套中-高硅、中铝、高钾钙碱性火山岩; 样品稀土元素总量(Σ REE)为 $412.25 \times 10^{-6} \sim 999.06 \times 10^{-6}$, 轻重稀土元素分馏明显($(La/Yb)_n = 4.41 \sim 43.10$), 呈现轻稀土(LREE)富集的右倾趋势, 负Eu异常明显($\delta Eu = 0.56 \sim 0.88$); 普遍富集大离子亲石元素(LILE)Ba、Rb、Ce, 高场强元素Nb、Ta、Th及Zr, 明显亏损Li、Sr、Y等元素。锆石LA-ICP-MS U-Pb同位素分析结果表明, 围岩成岩时代为晚侏罗世($(150.8 \pm 4.4) Ma \sim (164.7 \pm 3.1) Ma$)。初步限定乌兰铅锌矿形成于140~155 Ma期间外贝加尔—大兴安岭转换挤压弧形成之后的裂谷环境, 成因类型为受爆破角砾岩控制的浅成热液脉型铅锌矿床。

关键词:蒙古国; 乌兰铅锌矿; 地质特征; 岩石地球化学; 锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄

中文分类号: P597.3; P618.42~42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)04-1124-12

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, 分别属我国内蒙古自治区和蒙古国东方省管辖。从大地构造位置上看, 该成矿带地处华北—蒙古块体(Northern China—Mongolia block)东北段, 中蒙古—额尔古纳前寒武纪—早古生代中间地块东南部。该成矿带范围内各时代地层(体)出露广泛, 受前中生代和中—新生代多期次大规模构造作用的影响, 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。

该成矿带在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、甲乌拉铅锌矿、哈拉胜格拉陶勒盖铅锌矿, 蒙古国毗邻地段产出乌兰铅锌矿、查夫铅锌矿, 形成中蒙边境在北纬 $48^\circ \sim 51^\circ$ 、东

经 $114^\circ \sim 117^\circ$ 范围内铅锌矿矿集区(图1)。中国境内上述铅锌矿床发现时间较早, 前人针对其矿床地质特征、岩石地球化学特征及流体包裹体等方面作了大量研究工作^[2-9]; 而蒙古国境内铅锌矿的研究过去主要集中于外文文献的翻译^[10], 近年来中蒙地质合作加强使我国地质工作者可以亲赴蒙古国进行野外地质工作考察, 掌握第一手资料。

本次研究即是在对乌兰铅锌矿进行野外矿床考察基础上, 利用采集到的样品进行了较为系统的岩石地球化学研究及锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄测试, 旨在对于乌兰铅锌矿有一个较为清晰的认识, 并为中蒙上述毗邻区域多金属成矿规律对比研究奠定基础, 进而指导中国境内该矿集区区域的铅

收稿日期: 2014-05-06; 改回日期: 2014-06-25

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120328)资助。

作者简介: 张璟, 男, 1984年生, 博士, 从事金属矿床地质研究; E-mail: 441005231@qq.com。

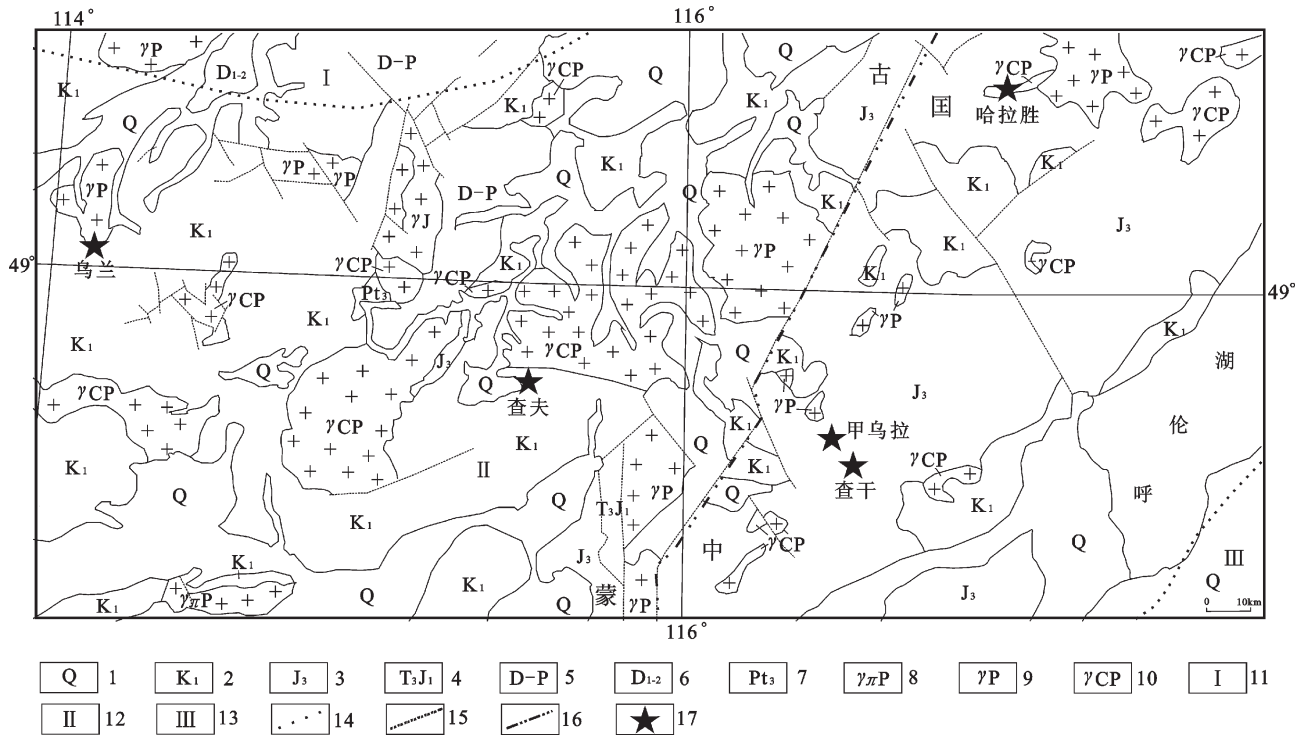


图1 中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿矿集区地质图

1—第四系;2—下白垩统火山岩;3—上侏罗统火山岩;4—上三叠统—下侏罗统火山岩;5—泥盆系—二叠系火山岩—碳酸盐岩;7—新元古界片岩;8—二叠纪花岗岩斑岩;9—二叠纪花岗岩;10—石炭纪—二叠纪花岗岩;11—蒙古—鄂霍茨克造山带;12—额尔古纳地块;13—海拉尔盆地;14—构造单元界线;15—断裂;16—国界;17—铅锌矿床

Fig.1 Geological map of the lead-zinc ore concentration area in the Kerulen-Manchuria metallogenic belt along the border area between China and Mongolia

1—Quaternary; 2—Volcanics of Lower Cretaceous; 3—Volcanics of Upper Jurassic; 4—Volcanics of Upper Triassic–Lower Jurassic; 5—Volcanics of Devonian–Permian; 6—Volcanics or carbonate rocks of Lower–Middle Devonian; 7—Schists of Upper Proterozoic; 8—Granite–porphyry in Permian; 9—Granite in Permian; 10—Granite in Carboniferous–Permian; 11—Mongolia–Okhotsk Orogen; 12—Ergun Block; 13—Hailar Basin; 14—Boundaries of tectonic units; 15—Fault; 16—National boundaries; 17—Lead–zinc deposit

锌矿找矿工作。由于境外地质工作难度较大,所选样品并不足以全面剖析矿床成矿特征,有待于日后进一步完善。

1 矿床地质特征

乌兰铅锌矿位于蒙古国东方省省会乔巴山市以北 125 km 处,距中蒙阿日哈沙特口岸 180 km,地理坐标:北纬 49°05',东经 114°05',矿区面积约为 0.5 km²(图1)。大地构造位置上位于都尔诺特中生代火山岩构造带北翼^[1],该火山岩构造带由晚侏罗世—早白垩世亚碱性玄武质—流纹质火山沉积岩层组成,可分为 3 个层位:下部为凝灰岩与安山岩—玄武岩,粗面英安岩、粗面流纹岩、石英长石斑岩相交替,厚达 400~600 m;中部为酸性凝灰岩、火山碎屑岩等,厚达 800 m;上部为安粗岩、流纹质凝灰岩、沉

积岩,厚达 500~1000 m。都尔诺特火山岩构造带断裂构造发育,最主要的是陡倾的 NE 向和 NW 向断裂带,这些断裂带长度为几十千米,深度可达几百米。

1.1 地层

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—石榴石矽卡岩,铅锌矿化及围岩蚀变有明显向矽卡岩叠加的迹象。盖层主要为中生代火山岩与火山沉积岩:底部为英安岩、英安质凝灰岩,厚度为 150~200 m;中部为安山岩、玄武岩,厚度为 130~150m;上部为霏细岩、粗面流纹岩,厚度为 100~400 m。基底和盖层都被晚期石英斑岩脉切穿,石英斑岩脉的厚度从十几米到 30~40 m,延伸长达 2 km,延伸方向主要为 NW 向,其次为 EW 向。

1.2 构造

矿区内主要控矿构造为NW向($320^{\circ}\sim 340^{\circ}$)穆哈尔断裂带,该断裂带宽约2 km,长为几十千米。穆哈尔断裂带包括穆哈尔断裂、东穆哈尔断裂和西穆哈尔断裂,这3条断裂的间距为400~1000 m。这些断裂为倾向SW的走滑-平移断层,断层垂向上的位移为几十米。断裂带由断层泥和构造角砾岩组成,常伴有30~40 m宽的破碎带和裂隙带,东穆哈尔断裂中充填了长约2 km的石英斑岩脉。穆哈尔断裂带经历了多期次构造-流体活动,断裂带中充填的石英斑岩脉和多金属矿脉均保存着成矿流体运动的痕迹,所形成的金属硫化物遭受多期次破碎-胶结过程。

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中生代火山沉积地层的走向。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较宽的(200~300 m)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。

矿区除了陡倾的断裂外,还发育缓倾斜的断裂。它们主要沿火山沉积岩层接触面发育,很少出现在岩层内部。最大缓倾斜断裂发育在霏细岩层底部,该断裂通过整个矿床,但多金属矿体并未发生位移。

1.3 赋矿岩脉

石英斑岩脉形成于火山活动晚期或热液蚀变作用早期,是主要的赋矿岩脉。岩脉分布于近东西向构造薄弱带与穆哈尔断裂带交汇部位,进一步可分为主岩脉、东部岩脉、主岩脉南部支脉和西部支脉。地表出露的岩脉有主岩脉、南部支脉和部分西部支脉,东部岩脉为盲脉体,其顶部位于地表以下20~150 m。

主岩脉的方向为近EW向,靠近穆哈尔断裂带,脉体呈楔形,长400 m,宽120 m,深700 m,未发现尖灭迹象。岩脉倾向南,倾角 $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。

南部支脉在主岩脉以南60 m处出露地表,呈椭圆形,大小为120 m \times 80 m。倾向北,倾角 75° ,在200 m深处和主岩脉连接起来。

西部支脉沿穆哈尔断裂带分布,形状扁平,走向NW,倾向SW,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。它在与主岩脉连接

处露出地表,呈扁平状,长100 m,宽10~15 m。岩脉随着深度的不断加大而向NW方向延伸,且厚度也在不断增加。在标高705 m处岩脉长约300 m,厚为30~60 m。

东部岩脉分布于近EW向薄弱带(控制主岩脉)与东穆哈尔断裂带以及近NS向断裂带的交汇部位。东部岩脉与主岩脉相距50 m,这一间隔量一直保持到地下500 m,二者在深部可能会连接起来。东部岩脉呈扁平状,走向近EW向,长达200 m,厚为20~70 m。岩脉向南倾斜,倾角为 $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。井深600 m仍未穿过岩脉。

岩脉中的角砾岩化部位经历了热液蚀变和矿化作用。在东部岩脉、南部支脉和主岩脉西北段的上部、西部支脉的顶端角砾岩主要被石英-萤石-硫化物胶结,沿着断面以及靠近岩脉中央地段的胶结物主要为绿帘石、阳起石等角砾状蚀变矿物。

1.4 围岩蚀变

早期围岩蚀变类型为矽卡岩化,主要发育于距地表600~800 m处的基岩与石英斑岩脉接触部位并形成矽卡岩。蚀变矿物主要包括透辉石、磁铁矿及少量石榴石、石英和尖晶石。

上覆盖层火山岩-火山沉积岩中也存在矽卡岩化,但更主要体现岩浆活动晚期与铅锌成矿作用相关的热液蚀变组合。围绕石英斑岩脉自内向外形成3个蚀变分带:绿帘石-阳起石化带、石英-正长石化带、青磐岩化带。绿帘石-阳起石化带分布于岩脉中,主要蚀变矿物包括绿帘石、阳起石,少量石榴石、透辉石、磁铁矿。蚀变岩分析结果显示,蚀变过程中经历了剧烈的铁-钙交代作用,随热液带入了大量的Ca、Mg、Fe,与此同时大量K、Na、Si析出。石英-正长石化带主要集中于岩脉的顶端,近EW向展布,长约1 km,宽200~300 m,距岩脉越近,硅化、正长石化程度越强。正长石化霏细岩中 K_2O 含量达10.5%,考虑与绿帘石-阳起石化蚀变过程中析出的大量K相关,蚀变温度为 $380\sim 400^{\circ}C$,常伴有少量黑云母化和绢云母化。青磐岩化主要分布于围岩安山岩、英安岩中,形成通常以假晶形式交代阳起石的绿泥石、菱铁矿、铁白云石等矿物,少见方解石。方铅矿化、闪锌矿化主要分布于石英-正长石化蚀变带中,并伴有石英-萤石矿化。与铀矿化伴生的高岭土化、水云母化、鲕绿泥石化、石英-高岭土化

主要分布于矿床上部围岩中。

1.5 矿体、矿石特征及成矿阶段划分

乌兰铅锌矿化主要受石英斑岩脉和断裂控制,对围岩选择性较差,矿体均产于石英斑岩附近不远处的构造破碎带中或岩体及边部不同类型围岩中,铅锌矿化不仅在火山沉积岩地层中发育,而且在基岩地层中也有所表现。矿化主要发育于岩脉中,其次为断裂。岩脉中已控制矿体8条,断裂中为1条。矿体大多呈脉状,个别矿体呈柱状。矿体呈近EW—NW向展布,倾向南或北,倾角70°~85°。矿体走向延长200~400 m;倾向长度达500~700 m,深部仍未完全控制;厚度集中于10~15 m。

矿体Pb品位0.18%~7.2%,Zn为0.23%~7.9%,Ag为13~1390 g/t。矿化元素在矿体垂向上分布不均匀:由浅至深,Pb、Ag逐渐降低,Zn、Cd含量增高。与此同时,矿体上部Cu、Au、As、黄铁矿含量通常较高。

矿石主要有益组分为Pb、Zn、Ag,伴有Cd、Cu、Au、As。矿石矿物主要有自然银、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,其次为黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿;脉石矿物为石英、方解石、萤石、水白云母等。矿石结构主要有半自形、他形粒状结构、交代残余结构、包含结构等,矿石构造主要有块状构造、团块状构造、角砾状构造、浸染状构造、脉状构造等。矿脉与石英脉、石英斑岩、火山岩界线清晰,一般品位较高的矿段以块状和团块状矿石为主。值得一提的是,爆破角砾岩在整个多金属矿化带中均较发育,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“块状矿体—脉状矿体”的矿化空间分布规律,以块状矿体为主。

依据野外矿脉穿切次序、矿物组合及矿物之间的共生关系等特征推断,乌兰铅锌矿可大致划分为3个成矿阶段:①高温热液阶段形成矽卡岩化蚀变,

以生成石榴石、透辉石及闪石类矿物为标志,该阶段矽卡岩化蚀变在上覆盖层中多以脉状形式存在,为早期热液活动结果,与铅锌矿化关系不大;②中温热液阶段以携带Pb、Zn、Ag等矿物成分的热液强烈活动为特征,形成与成矿密切相关的石英—正长石化带;③低温热液阶段,广泛发育青磐岩化蚀变,并形成铀—石英—萤石矿化及伴生的泥化。

2 样品采集及测试方法

2.1 样品采集

本次岩石地球化学测试样品采集于乌兰铅锌矿主岩脉II号矿体井下平洞,主要为样品M1-2:石英斑岩,斑状结构,基质为微晶结构;斑晶主要由斜长石构成,偶而见有少量钾长石;斜长石斑晶隐约可见聚片双晶,个别可隐约见到环带构造;斑晶大小约0.5~1 mm,含量占2%~3%;基质由他形石英及长石组成,粒度为0.06~0.1 mm,其中长石含量约占60%,石英约占40%;镜下可见穿插其中的石英细脉内有金属矿物。样品M1-3:粗面流纹岩,斑状结构,基质为隐晶质结构,块状构造;斑晶主要是钾长石(30%)、石英(5%)和少量角闪石(2%)。由于M1-2存在轻微矿化蚀变迹象,仅对M1-3进行常量元素分析,并结合蒙古国已有分析结果^[1](表1)。样品稀土、微量元素分析结果见表2。选择与成矿关系密切的M1-2、M1-3 2件样品进行锆石LA-ICPMS U-Pb同位素测年。

2.2 常量、稀土和微量元素测试方法

常量、稀土和微量元素测试在国土资源部东北矿产资源监督检测中心完成,常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;微量和稀土元素的分析则采用电感耦合等离子体光谱法(ICP-MS)分析,测试温度为25℃,湿度为

表1 乌兰铅锌矿容矿围岩常量元素(%)分析结果

Table 1 Major elements compositions (%) of ore bearing rocks in the Ullan lead-zinc deposit

样品编号	样品岩性	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃ ^T	FeO	LOI
M1-3	粗面流纹岩	2.81	0.064	12.44	76.01	0.013	5.42	0.15	0.16	0.017	1.41	0.27	1.26
MG-1	英安岩	3.19	2.58	13.21	68.54	0.24	4.04	0.24	0.64	0.082	2.88	2.26	2.27
MG-2	英安质凝灰岩	3.08	2.64	14.23	65.91	0.22	3.83	0.29	0.82	0.09	3.56	2.55	2.82
MG-3	安山岩	3.66	3.86	11.86	61.13	0.43	2.34	0.58	1.12	0.18	7.36	4.28	3.33

表2 乌兰铅锌矿容矿围岩、蚀变岩脉稀土元素、微量元素
(10^{-6})分析结果

Table 2 REE and trace elements compositions (10^{-6}) of ore bearing rocks and altered rock veins in the Ullan lead-zinc deposit

分析项目	M1-1 方铅矿脉	M1-2 石英斑岩	M1-3 粗面流纹岩	M1-4 石英萤石脉	M1-5 绿帘石脉	M1-6 石英脉
La	42.6	106	30.5	23	136	26.2
Ce	100	110	94	54.4	137	59.8
Pr	11.77	2065	8.45	6.09	25.1	6.72
Nd	40.71	7047	27.31	21.89	84.81	23.43
Sm	7.65	1223	4.88	4.34	12.96	4.29
Eu	0.51	0.26	0.35	0.19	0.4	0.36
Gd	6.7	11.01	4.4	3.82	12.31	3.73
Tb	1.04	1.62	0.72	0.67	1.46	0.56
Dy	5.3	7.55	4.42	3.87	5.97	2.75
Ho	0.85	1.16	0.82	0.68	0.86	0.43
Er	5.96	7.92	6.33	4.49	5.97	2.99
Tm	0.38	0.48	0.48	0.29	0.31	0.19
Yb	2.89	3.84	3.85	2.17	2.35	1.47
Lu	0.39	0.5	0.53	0.26	0.31	0.19
Ba	285	53	32.6	135	0.13*	567
Co	33.5	21.3	0.14	7.87	95.2	69.1
Cr	4.67	3.87	12.8	4.72	6.07	10.8
Nb	18	34.9	37.8	11	49.3	14.2
Ni	8.31	33.9	2.82	14.5	28.2	5.97
Rb	306	39.1	217	29.6	140	79.1
Sr	37.5	520	36.8	51.9	133	31.7
V	73.5	1.62	4.07	1.18	1.39	3.12
Zr	85.9	159	427	107	138	134
Li	16.5	4.45	28.1	30.4	21.1	53.7
Cs	3.4	53.5	7.36	1.83	4.11	3.36
Th	10.7	19.4	13.4	7.81	12.3	7.21
Ga	8.68	17.9	15.5	4.99	22.1	14
Sc	1.87	1.65	1.64	1.28	2.7	1.15
Hf	5.48	9.74	13	3.17	8.22	4.65
Ta	2.44	2.05	2.69	0.68	38.7	1.71
Y	23.7	26.3	17.5	20.7	31.6	10

注:加“*”数据为小于检出限的测定值,仅供参考。

65%,检测依据参照DZ/T0223-2001等。

2.3 锆石U-Pb同位素测定方法

本文样品采用常规方法进行粉碎,用电磁选方法进行分选,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、显微图像采集和锆石LA-ICP-MS U-Pb同位素分析的详细实验原理和流程参见文献[12]。测试结果通过GLITTER软件计算得出,实验获得的数据采用Andersen^[13]的方法进行同位素比值的校正以扣除普通Pb的影响,谐和图的绘制采用ISOPLOT3.0^[14]完成。

3 岩石地球化学特征

3.1 常量元素

乌兰铅锌矿容矿围岩(火山岩、火山沉积岩)SiO₂、Al₂O₃和MgO质量分数分别为61.13%~76.01%、11.86%~14.23%和0.064%~3.86%,Na₂O和K₂O质量分数分别为2.81%~3.66%和2.34%~5.42%,K₂O/Na₂O比值介于1.24~1.93,Fe₂O₃^T、CaO和P₂O₅质量分数分别为1.41%~7.36%、0.15%~0.58%和0.013%~0.43%。在火山岩TAS图解中,样品均位于碱性系列与亚碱性系列过渡部位(图2),具体为高钾钙碱性系列(图3)。在A/NK-A/CNK图解中样品分布较为集中,整体处于过铝质与准铝质过渡部位(图4)。可见,乌兰铅锌矿容矿围岩虽岩石类型较为复杂,但常量元素地球化学特征具有高度一致性,为一套中-高硅、中铝、高钾钙碱性火山岩。

3.2 稀土及微量元素

本次研究选取的火山岩、次火山岩及蚀变岩脉样品(表2)稀土元素总量(\sum REE)为412.25 $\times 10^{-6}$ ~999.06 $\times 10^{-6}$ 。(La/Yb)_N=4.41~43.10,轻重稀土元素分馏明显,呈现轻稀土(LREE)富集的右倾趋势,负Eu异常明显(δ Eu=0.56~0.88)。样品稀土元素配分模式具有高度一致性,表明矿致相关蚀变岩脉(M1-

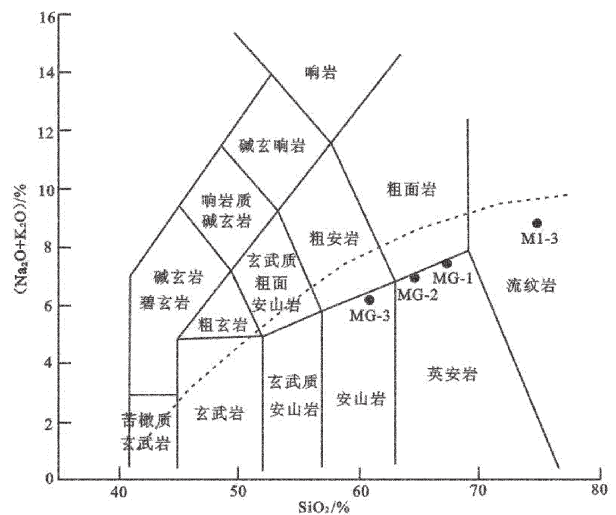


图2 火山岩TAS图解

(虚线上方为碱性系列,虚线下方为亚碱性系列)

Fig.2 TAS diagram of volcanic rocks

(Alkaline series is above the dotted line, and calc-alkaline is below the dotted line)

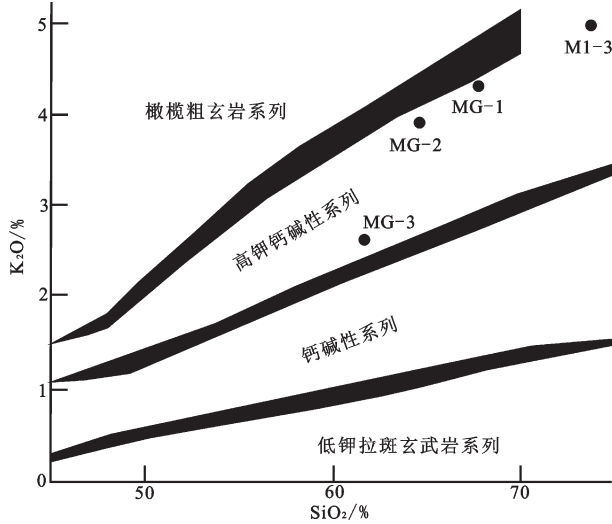


图3 SiO₂-K₂O关系图解
Fig.3 Diagram of SiO₂-K₂O

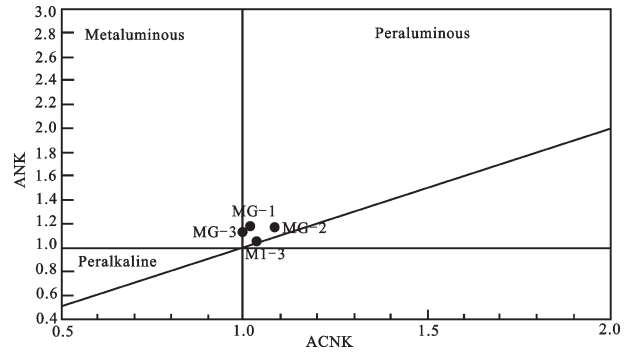


图4 ACNK-ANK关系图解
Fig.4 Diagram of ACNK-ANK

1、M1-4、M1-5、M1-6)与容矿围岩(M1-2、M1-3)具有相同的物质来源(图5),从而可以利用与成矿关系密切的容矿围岩的成岩时代来间接限定成矿时代^[15]。

在微量元素蛛网图中,该组样品(表2)普遍富集大离子亲石元素(LILE)Ba、Rb、Ce,高场强元素Nb、Ta、Th及Zr,明显亏损Li、Sr、Y等元素(图6),具有较高的一致性。但需注意的是,样品M1-5严重亏损Ba,考虑与退变质作用相关^[16]。

4 同位素年龄

用于进行锆石LA-ICP-MS U-Pb同位素分析的

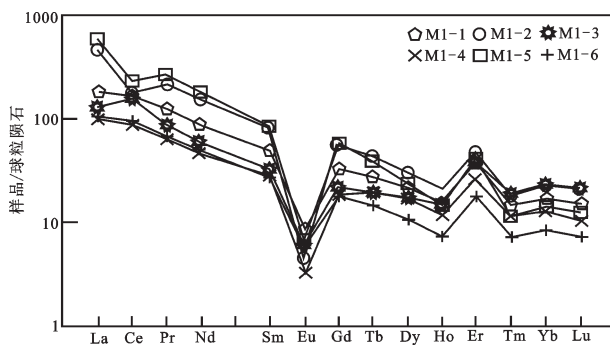


图5 样品稀土元素球粒陨石标准化配分图
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of samples

2个样品中锆石粒度变化较大(50~150 μm),锆石的阴极发光(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7~8),其Th/U比值介于0.35~0.82(表3~4),暗示锆石岩浆成因特征。

样品M1-2石英斑岩中锆石30个有效测点²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值介于(132.4±3.29)Ma~(182.5±4.12)Ma(图9,表3),其加权平均年龄为(150.8±4.4)Ma(MSWD=13),表明石英斑岩的形成时代为晚侏罗世。

样品M1-3粗面流纹岩中锆石25个有效测点²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值介于(159±2)Ma~(168±4)Ma(图10,表4),其加权平均年龄为(164.7±3.1)Ma(MSWD=0.048),表明粗面流纹岩的形成时代为晚侏罗世。

5 讨论

5.1 成矿特征对比

如前所述,中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿

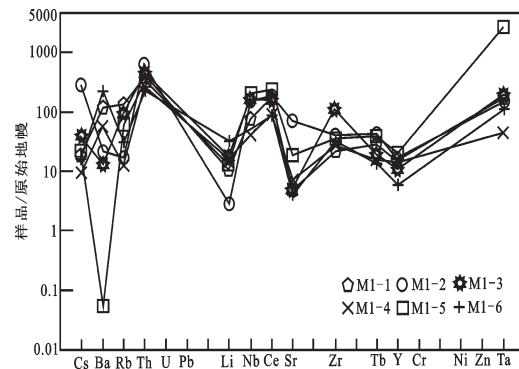


图6 样品微量元素原始地幔标准化蛛网图
Fig.6 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of samples

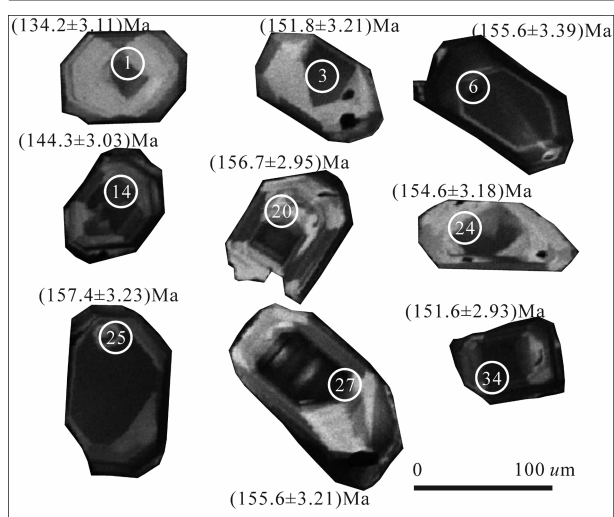


图7 样品M1-2 锆石阴极发光图像

Fig.7 CL images of selected zircons from sample M1-2

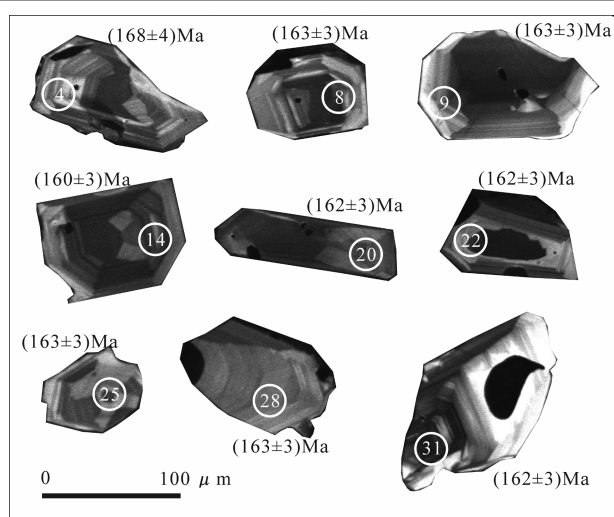


图8 样品M1-3 锆石阴极发光图像

Fig.8 CL images of selected zircons from sample M1-3

表3 M1-2(石英斑岩)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据
Table 3 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating data of sample M1-2

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
1	0.50	0.0539	0.0027	0.1593	0.0086	0.02103	0.00049	368.0	108.75	150.1	7.51	134.2	3.11
2	0.47	0.0685	0.0026	0.2006	0.0082	0.02163	0.00047	884.4	76.50	185.6	6.89	137.9	2.95
3	0.39	0.0792	0.0028	0.2405	0.0092	0.02382	0.00051	1177.9	68.18	218.8	7.50	151.8	3.21
4	0.46	0.0563	0.0021	0.1782	0.0070	0.02303	0.00048	462.7	80.70	166.5	6.04	146.8	3.05
5	0.44	0.1070	0.0057	0.3560	0.0220	0.02522	0.00070	1749.5	94.13	309.4	16.51	160.5	4.42
6	0.42	0.1090	0.0038	0.3830	0.0150	0.02444	0.00054	1782.2	61.86	329.5	11.05	155.6	3.39
8	0.45	0.0528	0.0025	0.1494	0.0076	0.02243	0.00051	317.8	104.55	141.4	6.69	143.0	3.22
9	0.57	0.0551	0.0020	0.1543	0.0060	0.02084	0.00044	414.2	79.67	145.7	5.25	133.0	2.75
10	0.38	0.1468	0.0050	0.5550	0.0230	0.02872	0.00066	2308.6	57.83	448.2	14.79	182.5	4.12
11	0.45	0.1177	0.0036	0.4030	0.0140	0.02382	0.00050	1921.1	53.38	343.6	9.83	151.7	3.15
12	0.38	0.0510	0.0023	0.1620	0.0079	0.02338	0.00052	239.3	102.03	152.4	6.92	149.0	3.26
13	0.51	0.2239	0.0073	0.6840	0.0270	0.02422	0.00057	3009.2	51.71	529.3	15.98	154.3	3.59
14	0.47	0.0716	0.0026	0.2311	0.0090	0.02263	0.00048	973.5	71.39	211.1	7.39	144.3	3.03
15	0.54	0.0516	0.0017	0.1559	0.0052	0.02245	0.00045	265.4	72.39	147.1	4.60	143.1	2.83
16	0.54	0.0820	0.0024	0.3031	0.0095	0.02650	0.00053	1246.2	55.69	268.8	7.38	168.6	3.34
17	0.45	0.0546	0.0015	0.1849	0.0051	0.02498	0.00048	394.7	59.17	172.2	4.40	159.1	3.03
18	0.47	0.0463	0.0024	0.1505	0.0082	0.02225	0.00051	11.8	118.45	142.4	7.27	141.9	3.20
20	0.70	0.0502	0.0013	0.1689	0.0044	0.02460	0.00047	202.0	58.94	158.4	3.84	156.7	2.95
21	0.35	0.0720	0.0033	0.2030	0.0100	0.02347	0.00055	987.2	90.86	188.0	8.60	149.5	3.49
22	0.38	0.1815	0.0072	0.7190	0.0360	0.02757	0.00071	2666.4	64.55	549.8	21.45	175.3	4.45
23	0.49	0.0632	0.0028	0.1856	0.0088	0.02090	0.00047	714.2	90.76	172.9	7.53	133.4	2.98
24	0.55	0.0528	0.0020	0.1725	0.0070	0.02427	0.00051	317.0	84.11	161.6	6.03	154.6	3.18
25	0.46	0.0710	0.0024	0.2417	0.0089	0.02472	0.00051	957.8	68.36	219.8	7.31	157.4	3.23
27	0.56	0.0561	0.0021	0.2016	0.0081	0.02442	0.00051	455.7	80.67	186.5	6.88	155.6	3.21
28	0.51	0.0548	0.0022	0.1854	0.0078	0.02479	0.00052	403.8	85.27	172.7	6.71	157.9	3.30
29	0.50	0.1724	0.0044	0.6610	0.0190	0.02698	0.00054	2580.9	41.86	515.3	11.41	171.6	3.39
30	0.52	0.0934	0.0044	0.2900	0.0160	0.02075	0.00052	1496.5	87.18	258.9	12.24	132.4	3.29
31	0.42	0.0528	0.0015	0.1820	0.0053	0.02465	0.00047	318.8	62.52	169.8	4.52	157.0	2.99
34	0.56	0.0574	0.0017	0.1850	0.0056	0.02379	0.00046	504.4	63.91	172.3	4.84	151.6	2.93
35	0.38	0.0741	0.0029	0.2430	0.0100	0.02513	0.00055	1043.7	75.68	220.6	8.33	160.0	3.43

表4 M1-3(粗面流纹岩)LA-ICP-MS锆石U-Pb定年数据
Table 4 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating data of sample M1-3

点号	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ 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
2	0.44	0.0475	0.0090	0.170	0.032	0.02603	0.00064	76	306	160	28	166	4
4	0.43	0.0482	0.0072	0.175	0.026	0.02638	0.00059	107	260	164	22	168	4
6	0.53	0.0491	0.0039	0.174	0.014	0.02576	0.00044	151	146	163	12	164	3
7	0.45	0.0497	0.0042	0.175	0.014	0.02554	0.00046	180	152	164	12	163	3
8	0.56	0.0492	0.0044	0.174	0.015	0.02563	0.00047	158	165	163	13	163	3
9	0.51	0.0500	0.0048	0.176	0.017	0.02558	0.00046	194	181	165	14	163	3
10	0.44	0.0500	0.0057	0.178	0.020	0.02585	0.00048	196	219	166	17	165	3
11	0.61	0.0514	0.0043	0.179	0.015	0.02527	0.00041	257	157	167	13	161	3
12	0.73	0.0518	0.0030	0.178	0.010	0.02499	0.00038	278	104	167	9	159	2
14	0.54	0.0508	0.0045	0.176	0.015	0.02520	0.00044	233	163	165	13	160	3
15	0.42	0.0481	0.0094	0.172	0.033	0.02594	0.00063	105	318	161	29	165	4
16	0.42	0.051	0.011	0.177	0.037	0.02523	0.00060	235	355	165	32	161	4
18	0.72	0.0493	0.0034	0.175	0.012	0.02568	0.00040	164	127	163	10	163	3
19	0.41	0.050	0.013	0.176	0.046	0.02540	0.00076	205	423	164	40	162	5
20	0.45	0.0511	0.0052	0.179	0.018	0.02537	0.00042	246	199	167	16	162	3
22	0.42	0.0498	0.0044	0.175	0.015	0.02546	0.00043	188	165	164	13	162	3
23	0.81	0.0501	0.0085	0.177	0.030	0.02567	0.00057	198	299	166	26	163	4
24	0.59	0.048	0.013	0.172	0.046	0.02617	0.00081	87	405	161	40	167	5
25	0.50	0.0498	0.0046	0.175	0.016	0.02556	0.00048	185	170	164	14	163	3
26	0.51	0.050	0.010	0.177	0.036	0.02551	0.00061	205	341	165	31	162	4
28	0.44	0.0497	0.0072	0.175	0.025	0.02555	0.00055	180	264	164	22	163	3
29	0.44	0.0510	0.0053	0.177	0.018	0.02517	0.00051	242	195	165	16	160	3
30	0.62	0.0492	0.0049	0.175	0.017	0.02586	0.00055	157	182	164	15	165	3
31	0.82	0.0510	0.0059	0.179	0.021	0.02546	0.00044	240	228	167	18	162	3

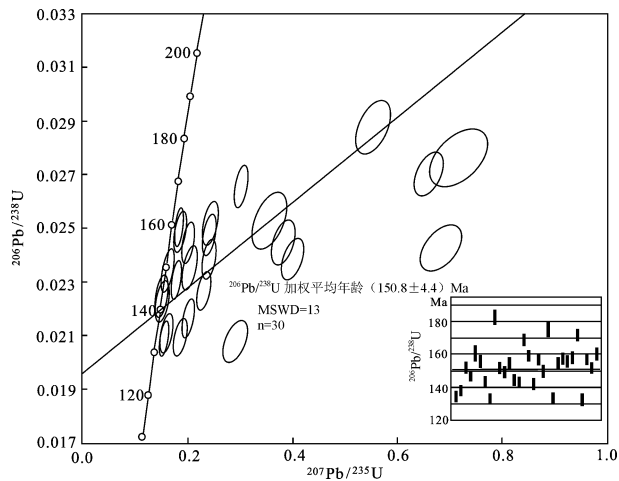


图9 样品M1-2 U-Pb谐和图
Fig.9 U-Pb concordia diagram of sample M1-2

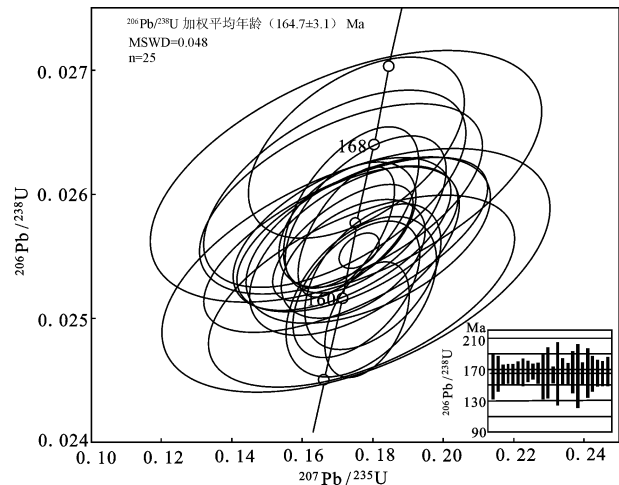


图10 样品M1-3 U-Pb谐和图
Fig.10 U-Pb concordia diagram of sample M1-3

集区内主要产出乌兰铅锌矿、查夫铅锌矿、甲乌拉铅锌矿、查干不拉根铅锌矿。利用本次乌兰铅锌矿地质特征研究结果,结合前人针对后三者的研究成果^[2-9],现将上述矿床成矿特征作如下对比研究,见

表5。

容矿围岩方面:乌兰、查夫铅锌矿主要为侏罗系火山岩地层,甲乌拉、查干不拉根主要为二叠系火山岩、火山沉积岩地层;容矿围岩具有多样性,体

表5 中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿矿集区矿床地质特征

Table 5 Metallogenic characteristics of lead-zinc deposits in the lead-zinc ore concentration area along the Kerulen-Manchuria metallogenic belt in the border area between China and Mongolia

矿床特征	乌兰铅锌矿	查夫铅锌矿	甲乌拉铅锌矿	查干布拉根铅锌矿
容矿围岩	侏罗系英安岩、安山岩、玄武岩、流纹岩	侏罗系玄武岩、安山岩、粗面安山岩、英安岩、安粗岩、高钾流纹岩	二叠系玄武岩、安山岩、流纹岩、板岩和砂砾岩	二叠系砂板岩、流纹岩
侵入岩脉	石英斑岩	二长闪长岩、花岗岩、正长岩	长石斑岩、花岗斑岩	石英斑岩、长石斑岩、流纹斑岩
控矿构造	NW 向穆哈尔断裂	NW、NNW、NE 向断裂	NW、NNW 向断裂	NWW 向断裂
围岩蚀变	矽卡岩化、绿帘石化、阳起石化、硅化、钾长石化、碳酸盐化、绿泥石化	硅化、绢云母化、绿帘石化、碳酸盐化	硅化、绢云母化、萤石化、绿泥石化、碳酸盐化	硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、伊利石化、碳酸盐化、高岭石化
矿体形态	块状、脉状	脉状、条带状、透镜状	脉状、条带状、透镜状	脉状、条带状、透镜状
主要金属矿物	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿
次要金属矿物	黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿	辉铜矿、白铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉钼矿、黝铜矿、深红银矿、螺状硫银矿、硫铋铜银矿、辉铋矿、自然铋和自然银	磁铁矿、赤铁矿、斑铜矿、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、硫铋银矿	毒砂、磁黄铁矿、辉铋铅银矿、银黝铜矿、深红银矿、自然银、硫铋铜银矿、金银矿、角银矿、辉银矿
脉石矿物	石英、方解石、萤石、水白云母	石英、方解石	石英、萤石、绢云母、绿泥石、伊利石、水白云母、方解石	石英、萤石、绢云母、绿泥石、绿帘石、伊利石、方解石、高岭石、菱锰矿

现了本区域铅锌矿化对于围岩选择性较差。与成矿相关的侵入岩脉:除查夫铅锌矿外,均为次火山岩,体现了浅成低温热液控矿的特征。控矿构造:主要为NW向断裂构造,随矿床分布空间位置不同而转向NNW、NWW向。围岩蚀变类型及组合:相似,为典型的浅成热液蚀变类型^[7],由于乌兰铅锌矿存在古元古代基底而发育矽卡岩化。矿体形态:均为脉状、条带状及透镜状,乌兰铅锌矿爆破角砾岩较为发育而存在块状矿体类型。主要金属矿物、次要金属矿物及脉石矿物也体现了相似性。上述对比研究表明,乌兰铅锌矿与矿集区内其他铅锌矿在成矿特征方面具有高度相似性,仅由于构造位置不同而存在细小差异,因而推断其成矿类型一致,为受爆破角砾岩控制的浅成热液脉型铅锌矿床。

5.2 成矿地质背景

中一晚侏罗世,乌兰铅锌矿所在位置处于外贝加尔—大兴安岭转换挤压弧处,该挤压弧被认为是

沿着蒙古—鄂霍茨克缝合带形成的,切穿了北亚克拉通和克拉通南部边缘的先存增生地体,延伸至外贝加尔地区和蒙古西部更远处。伴随着转换挤压弧的形成,地壳延展带内的断裂有所分级,结果导致一系列单向或双向地堑沿着EW-NW走向形成,最终被晚侏罗世至早白垩世双峰式火山岩和陆源碎屑沉积物所填充^[8]。本次研究中常量元素分析结果表明,乌兰铅锌矿容矿围岩(火山岩、火山沉积岩)整体为一套中-高硅、中铝、高钾钙碱性火山岩,该特征火山岩大多形成于上述裂谷环境^[9]。

乌兰铅锌矿容矿围岩(火山岩、火山沉积岩)样品普遍富集大离子亲石元素(LILE)Ba、Rb、Ce,高场强元素Nb、Ta、Th及Zr,明显亏损Li、Sr、Y等元素的微量元素分布模式与幔源岩浆特征具有一定相似性。结合蒙古国地质工作者硫同位素分析结果^[11],矿床所含硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 为-1‰~+4‰,黄铁矿和闪锌矿硫同位素特征相似,揭示硫具有一致的深成

来源。样品稀土元素配分模式具有高度一致性,表明样品具有相同物质来源。根据野外赋矿岩脉、容矿围岩、矿化蚀变脉体之间的穿插、交错关系,可初步判断其形成顺序为容矿火山岩地层沉积→石英斑岩侵入→矿化蚀变脉体贯入。浅成低温热液型矿床矿石沉淀发生在容矿围岩就位后不久(0.5~15 Ma)^[20],因而可以利用矿区火山岩地层上部岩石类型——粗面流纹岩及石英斑岩的形成年龄限定矿化蚀变的时间上限。

锆石U-Pb测年结果显示,粗面流纹岩((164.7±3.1)Ma)与石英斑岩((150.8±4.4)Ma)均形成于晚侏罗世,测年结果与地质事实完全吻合,二者在误差范围内相差6.4 Ma。蒙古国地质工作者曾对乌兰铅锌矿上部围岩中的铀矿化利用铀测年方法进行年龄测定,获得绝对年龄分别为136 Ma、137 Ma、143 Ma和157 Ma^[11]。铀矿化形成于铅锌矿化之后,因而该组年龄可以作为铅锌矿化下限年龄。结合前人使用Li-Ar法确定的乌兰铅锌矿绢云母形成年龄((161±7)Ma)^[11],可初步推断乌兰铅锌矿成矿时间为140~155 Ma。

综上所述,乌兰铅锌矿形成于140~155 Ma期间外贝加尔—大兴安岭转换挤压弧形成之后的裂谷环境。

6 结 论

(1) 乌兰铅锌矿容矿围岩为侏罗系英安岩、安山岩、玄武岩、流纹岩,显示出成矿对于围岩选择性较差。石英斑岩是主要的赋矿岩脉与NW向穆哈尔断裂带共同构成了重要的控矿因素。围岩蚀变类型(矽卡岩化、绿帘石化、阳起石化、硅化、钾长石化、碳酸盐化、绿泥石化)及矿体特征均符合浅成低温热液脉型多金属矿床特征。

(2) 常量元素分析结果表明,乌兰铅锌矿容矿围岩为一套中-高硅、中铝、高钾钙碱性火山岩。稀土元素配分模式具有高度一致性,表明样品具有相同物质来源。普遍富集大离子亲石元素(LILE)Ba、Rb、Ce,高场强元素Nb、Ta、Th及Zr,明显亏损Li、Sr、Y等元素的微量元素分布模式与幔源岩浆特征具有一定相似性,以上特征表明致矿岩浆有可能来源于深部(可达地幔)。

(3) 通过中蒙克鲁伦—满洲里成矿带铅锌矿集

区内铅锌矿床成矿特征对比研究,确定乌兰铅锌矿为受爆破角砾岩控制的浅成热液脉型铅锌矿床。

(4) 锆石LA-ICPMS U-Pb同位素分析结果表明,乌兰铅锌矿围岩成岩时代为晚侏罗世((150.8±4.4)Ma~(164.7±3.1)Ma),结合蒙古国地质工作者年龄分析结果,通过成矿地质背景研究,初步限定乌兰铅锌矿形成于140~155 Ma期间外贝加尔—大兴安岭转换挤压弧形成之后的裂谷环境。

参考文献(References):

- [1] 朱群,武广,张炯飞,等. 得尔布干成矿带成矿区划与勘查技术研究进展[J]. 中国地质, 2001, 28 (5): 19-27.
Zhu Qun, Wu Guang, Zhang Jiongfei, et al. Research progress of metallogenic classification and exploration technology in Derbugan metallogenic belt[J]. *Geology in China*, 2001, 28 (5): 19-27 (in Chinese with English abstract).
- [2] 聂凤军,刘勇,刘翼飞,等. 中蒙边境查夫一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.
Nie Fengjun, Liu Yong, Liu Yifei, et al. Ore-forming processes of silver-polymetallic deposits occurring within Tsav-Jiawula region along China-Mongolian border[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2011, 41(6): 1715-1725 (in Chinese with English abstract).
- [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.
Xie Chengbo, Liu Ming. Geological features and genetic type of Chaganbulagen Ag, Pb, Zn(Au) deposit[J]. *World Geology*, 2001, 20 (1): 25-29 (in Chinese with English abstract).
- [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.
Shuang Bao, Ge Yuqi, Liu Jixian. Relationship between fluid inclusions and ore-forming of Jiawula Ag-Pb-Zn deposit in Hulunbeir league, Inner Mongolia[J]. *Jilin Geology*, 2009, 28 (2): 32-35 (in Chinese with English abstract).
- [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.
Zeng Lingping. Geological features of Jiawula Ag-Pb-Zn deposit and its metallogenic control discussion[J]. *Nonferrous Metals Geology(Mine Part)*, 2010, 62 (3): 34-39 (in Chinese with English abstract).
- [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.
Zhai Degao, Wang Jianping, Liu Jiajun, et al. Ore-forming fluids evolution and metallogenic mechanism analysis of the Jiawula Ag-poly-metallic deposit, Inner Mongolia[J]. *J. Mineral Petrol.*, 2010, 30 (2): 68-76 (in Chinese with English abstract).

- [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.
Zhai Degao, Liu Jiajun, Wang Jianping, et al. A study of stable isotope geochemistry of the Jiawula large Pb-Zn-Ag ore deposit, Inner Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20 (2): 213-225 (in Chinese with English abstract).
- [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.
She Hongquan, Li Honghong, Li Jinwen, et al. The metallogenetical characteristics and prospecting direction of the copper-lead-zinc polymetal deposits in the Northern-Central Daxinganling Mountain, Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (10): 1456-1472 (in Chinese with English abstract).
- [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.
Wu Guang, Mi Mei, Gao Fengjun, et al. Ore-forming fluid characteristics and genesis of silver-lead-zinc deposits in the Manzhouli area, Inner Mongolia, China[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17 (2): 239-255 (in Chinese with English abstract).
- [10] 曹宏经, 周平. 查夫矿床的含矿构造(内蒙古)[J]. 国外铀金地质, 1996, 13 (1): 58-65.
Cao Hongjing, Zhou Ping. Ore-bearing structure of Tsav lead-zinc deposit (Eastern Mongolia)[J]. Overseas Uranium and Gold Geology, 1996, 13 (1): 58-65 (in Chinese with English abstract).
- [11] Мельников В. И, Долгор Я, Мазилев Е. В, et al. Ullan lead-zinc Deposit (Eastern Mongolia)[R]. Mongolia: Cojbalsan, 1996.
- [12] 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.
- [13] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59-79.
- [14] Ludwig K R. Users manual for Isoplot/Ex (rev.2.49): A geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2001, 1: 55.
- [15] 表尚虎, 郑卫政, 周兴福. 大兴安岭北部锆石U-Pb年龄对额尔古纳地块构造归属的制约[J]. 地质学报, 2012, 86 (8): 1262-1272.
Biao Shanghu, Zheng Weizheng, Zhou Xingfu. Zircon U-Pb age of the North Da Hinggan Mts., NE China and its constraint to attribute of the Ergun Block[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86 (8): 1262-1272 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘树杰, 李玉龙, 王德福. 内蒙古东部额尔古纳地块古变质岩地球化学特征及成因环境探讨[J]. 吉林地质, 2011, 30 (1): 19-28.
Liu Shujie, Li Yulong, Wang Defu. Geochemical characteristics and genetic environment of the ancient metamorphic rocks in the Ergun Block in the eastern part of Inner Mongolia[J]. Jilin Geology, 2011, 30 (1): 19-28 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张炯飞, 权恒, 武广, 等. 东北地区中生代火山岩形成的构造环境[J]. 贵金属地质, 2000, 9 (1): 33-38.
Zhang Jiongfei, Quan Heng, Wu Guang, et al. Tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Northeast China [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 2000, 9 (1): 33-38(in Chinese with English abstract).
- [18] Leonid M. Parfenov, Gombosuren Badarch, Nikolai A. Berzin, et al. Metallogenesis and tectonics of Northeast China[M]. USGS, 2003: 548-550.
- [19] 尹志刚, 张跃龙, 杨晓平, 等. 大兴安岭北部中生代火山岩特征及岩浆演化[J]. 世界地质, 2006, 2 (25): 120-128.
Yin Zhigang, Zhang Yuelong, Yang Xiaoping, et al. Characteristics of Mesozoic volcanic rocks and magma evolution in North Da Hinggan Mountains [J]. World Geology, 2006, 2 (25): 120-128(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈根文, 夏斌, 肖振宇, 等. 浅成低温热液矿床特征及在我国的找矿方向[J]. 地质与资源, 2001, 10 (3): 165-171.
Chen Genwen, Xia Bin, Xiao Zhenyu, et al. Characteristics of epithermal deposits and the prospecting guide in China [J]. Geology and Resource, 2001, 10 (3): 165-171(in Chinese with English abstract).

Geological and rock geochemical characteristics and U-Pb age of the Ullan lead-zinc deposit in Mongolia

ZHANG Jing, SHAO Jun, BAO Qing-zhong, ZHOU Yong-heng, WANG Hong-bo

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, Liaoning, China*)

Abstract: The Ullan lead-zinc deposit in Mongolia, together with Tsav, Jiawula, Chaganbulagen lead-zinc deposits, forms a lead-zinc ore concentration area in the Kerulen-Manchuria metallogenic belt. Geological characteristics of the Ullan deposit were described in the aspects of ore-bearing strata, ore-controlling structure, ore-bearing dike, wall rock alteration and orebody characteristics. Rock geochemical studies show that ore-bearing rocks are calc-alkaline volcanic rocks with medium-high Si, medium-Al and high K. The rocks are enriched in large-ion lithophile elements (Ba, Rb, Ce), high field-strength elements (Nb, Ta, Th), Zr and depleted in Li, Sr, Y, with the data $\sum \text{REE}=412.25 \times 10^{-6}-999.06 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_N=4.41-43.10$ and strong Eu anomalies ($\delta \text{Eu}=0.56-0.88$). Zircon LA-ICPMS U-Pb isotope ages indicate that wall rocks formed in Late Jurassic (from (150.8 ± 4.4) Ma to (164.7 ± 3.1) Ma). The authors also determined that Ullan lead-zinc deposit was formed in a rift setting after the formation of Transbaikal-Da Hinggan Mountains transpressional arc in the period of 140-155 Ma and hence belongs to the hypabyssal hydrothermal vein-type deposit controlled by explosion breccia.

Key words: Mongolia; Ullan lead-zinc deposit; geological characteristics; rock geochemistry; zircon LA-ICPMS U-Pb age

About the first author: ZHANG Jing, male, born in 1984, doctor, majors in metal deposit geology; E-mail: 441005231@qq.com.