

吴涛涛, 赵东芳, 邵军, 等. 内蒙古比利亚谷铅锌银矿床地质地球化学特征及成因[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1242-1252.

Wu Taotao, Zhao Dongfang, Shao Jun, et al. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Biliyagu lead-zinc-silver deposit, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1242-1252(in Chinese with English abstract).

# 内蒙古比利亚谷铅锌银矿床地质地球化学特征及成因

吴涛涛 赵东芳 邵军 鲍庆中 王宏博

(沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110034)

**摘要:**比利亚谷铅锌银矿位于海拉尔—根河中生代火山盆地北西缘地区。该矿床赋存于上侏罗统满克头鄂博组酸性火山岩中,受北西向断裂构造控制,主矿体呈脉状产出。赋矿围岩流纹质火山角砾熔岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明,其成岩时代为(159.2±1.8) Ma,并依据赋矿围岩与成矿的关系推测成矿时代为晚侏罗世。矿床赋矿围岩流纹质火山角砾熔岩和流纹岩的主量元素具有富硅(68.31%~77.18%)、富钾(3.39%~4.28%)、低钠(0.14%~0.18%)、高铝(11.74%~14.93%)的特征,属高钾钙碱性系列;岩石 REE 总量较低( $93.65 \times 10^{-6}$ ~ $98.94 \times 10^{-6}$ ),以轻稀土相对富集、轻稀土和重稀土分异明显、弱的 Ce 负异常和 Eu 负异常为特征;结合岩石具有亏损 Sr、高度富集轻稀土等特征认为火山岩产于板内,与其有关的岩浆可能来源于上地幔,并混染了壳源物质。综合本次研究和区域构造演化特征,初步认为矿床形成于鄂霍次克板块剪刀式闭合时期的拉张伸展环境。

**关键词:**铅锌银矿床;地球化学;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年;矿床成因;比利亚谷

中图分类号:P618.42~43;P618.52 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2014)04-1242-11

比利亚谷铅锌银矿床位于内蒙古自治区根河市得耳布尔镇以西约 5 km 的区域内,是一处新近发现的矿床。依据 2010 年内蒙古地矿局地勘院对该矿床的勘探结果,该矿床已探明 Pb+Zn 金属资源/储量超过 70 万 t,可望达到中大型矿床规模,并伴生 Ag,具有较大的潜在经济价值。

该矿床地处海拉尔—根河中生代火山盆地北西缘,成矿区带划属得耳布干成矿带<sup>[1-5]</sup>,该成矿带内脉状铅锌矿床十分发育,除了上世纪找到的得耳布尔大型铅锌矿床外,近几年又陆续发现了二道河子铅锌矿、东郡铅锌银矿等一批中—大型矿床<sup>[6-7]</sup>,俨然已构成一个铅锌矿化集中区,显示出该区极具铅锌矿化的成矿潜力。由于该矿床发现较晚,且目

前仍处于勘查阶段,成矿理论研究十分薄弱。笔者在该矿床成矿地质特征分析的基础上,对其赋矿围岩进行锆石 U-Pb 同位素测年和地球化学特征研究,探讨其矿床成因和成矿构造环境,以期对该矿床及区域上同类矿床的深入研究和勘查提供理论基础,并弥补该矿床在这一方面研究的空白。

## 1 矿区地质概况

比利亚谷铅锌银矿床位于 NE 向的得耳布干深大断裂北西侧,狭于额尔古纳地块和鄂伦春晚古生代中期增生带之间(图 1-a)。前中生代受古亚洲洋构造演化影响,中生代以来受北部鄂霍次克洋闭合和太平洋活动陆缘的联合作用,区内构造—岩浆活

收稿日期:2014-05-06;改回日期:2014-06-27

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212011120328)资助。

作者简介:吴涛涛,男,1988年生,助理工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业,主要从事固体金属矿产勘查及矿床研究工作;

E-mail:553583730@qq.com。

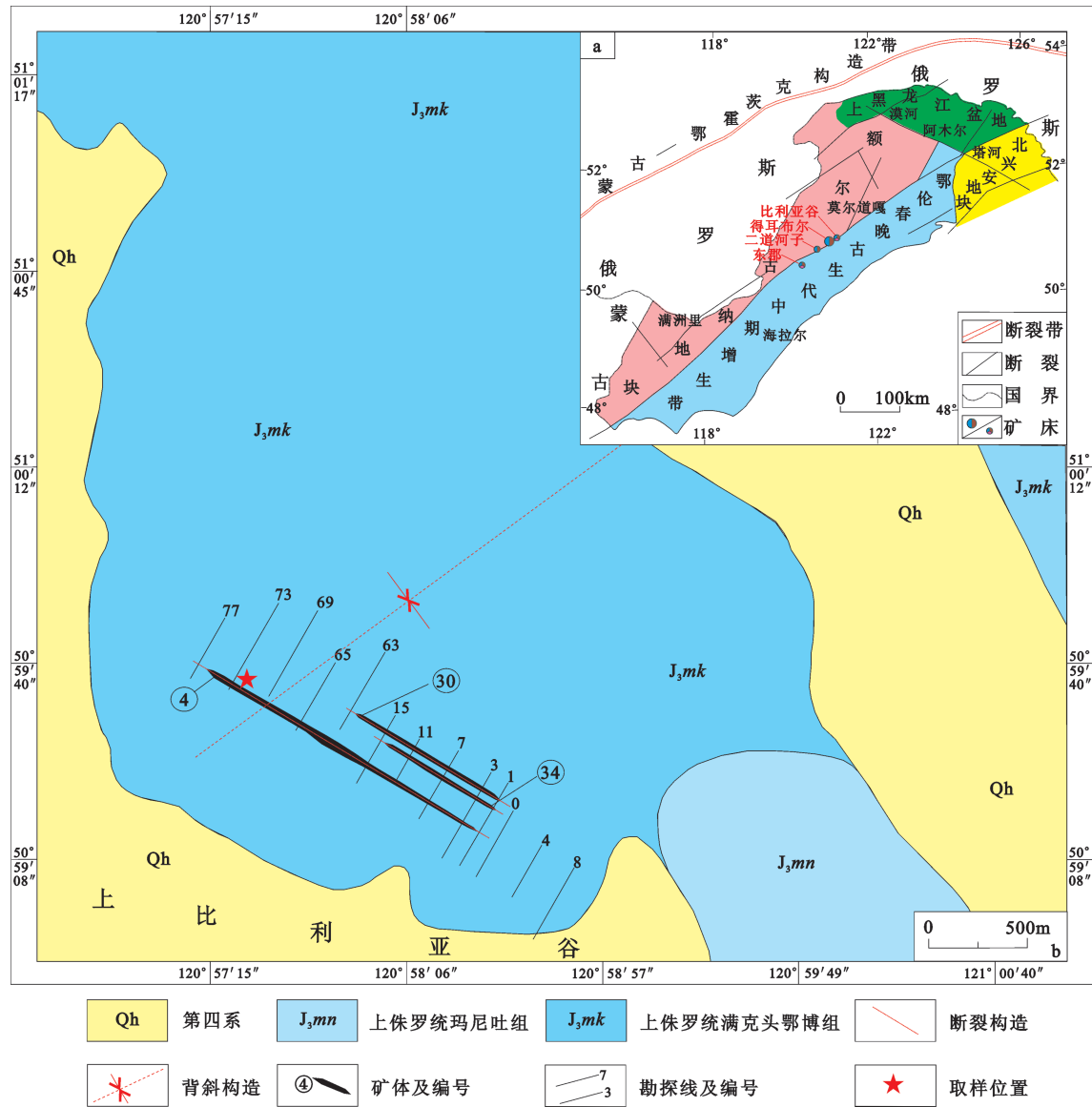


图1 比利亚谷铅锌银矿床大地构造位置图及地质简图  
 (a—比利亚谷铅锌银矿床大地构造位置图,据文献[14];b—比利亚谷铅锌银矿床地质简图,据资料①实测修改)  
 Fig. 1 Geological sketch map (b) and tectonic location (a) of the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit  
 (a—after reference [14]; b—modified after reference ①)

动强烈,并形成海拉尔—根河火山断陷盆地<sup>[8-14]</sup>,矿床即处在该火山盆地的北西缘。

矿区出露地层比较简单(图1-b),主要为大面积分布的上侏罗统满克头鄂博组( $J_3mk$ )火山熔岩和火山碎屑岩,其岩性主要为流纹岩、流纹质晶屑凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩等,在矿区东南部还有小

范围的上侏罗统玛尼吐组( $J_3mn$ )地层出露,其岩性主要为安山岩、安山质晶屑凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩等。矿区坑道内可见赋矿围岩岩性主要为流纹岩、流纹质火山角砾熔岩等,此外,在比利亚谷1号矿区钻孔中还发现1处花岗质片麻岩捕掳体,经锆石U-Pb同位素测年分析,其年龄为(2601.5±4.8)

①内蒙古根河市森鑫矿业开发有限责任公司. 内蒙古自治区根河市比利亚谷铅锌银矿床地质详查报告. 根河:内蒙古根河市森鑫矿业开发有限责任公司,2010.

Ma(据邵军未发表资料),推测在矿区火山岩盖层之下存在古老基底。

矿区构造以断裂构造为主,受NE向得耳布干深大断裂影响,矿区NW向断裂构造十分发育,是该矿床的控矿和容矿构造,在矿区中部还发育一组背斜褶皱构造,其轴向呈NE-SW向。矿区与成矿有关的侵入岩不发育。

## 2 矿床地质特征

矿区共圈定出72条铅锌矿(化)体,其中达到工业品位的矿体17条,规模较大的矿体有4号、30号、34号等。这些矿体主要赋存于上侏罗统满克头鄂博组酸性火山熔岩及火山碎屑岩中,并受断裂、裂隙构造控制,总体呈NW向雁列式展布(图1)。

矿区铅锌矿化可大致分为2期:早期铅锌矿化与酸性火山熔岩相伴形成,主要呈细脉状分布在流纹岩的流动构造中或呈浸染状分布于流纹岩中,晚期矿化多呈脉状、透镜体状分布在断裂构造裂隙中,矿区铅锌矿化以晚期形成的矿体为主。空间上,各矿体产状变化较大,走向 $295^{\circ}\sim 305^{\circ}$ ,倾角较陡,在 $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ,且以1号勘探线为界,勘探线以西的矿体倾向SW,以东的矿体则倾向NE。矿体在走向和延深上厚度变化较稳定,矿化较均匀,有膨缩分枝现象,走向长度在0.053~1.55 km,延深在280.00~601.26 m,厚度一般在4.54~14.65 m。

矿石中原生金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿、

黄铁矿、黄铜矿等,次生金属矿物主要有褐铁矿。脉石矿物以石英、绿泥石、碳酸盐矿物、粘土矿物为主。方铅矿和闪锌矿主要呈块状、条带状分布在断裂裂隙中,少数呈浸染状、斑杂状分布在碎裂蚀变岩中,在局部流纹岩的流动构造层理也见有少量方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等金属矿物呈条带状分布。

矿区围岩蚀变发育,常见的蚀变类型主要有硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化等,矿体与围岩界限清晰,由近矿体至远离矿体围岩蚀变强度由强变弱。

## 3 分析方法与实验流程

用于锆石测年的流纹质火山角砾熔岩样品(k12b-2)取自比利亚谷矿区坑道内(图1-b)。岩石为发生矿化蚀变的赋矿围岩,与成矿关系十分密切。该岩石具火山角砾结构,块状构造,并全部由流纹质火山岩的碎屑(包括角砾级角砾和凝灰级的岩屑、晶屑)和熔岩玻璃构成,角砾之间的胶结物为流纹质的熔岩玻璃,其中玻璃质组分脱玻化明显并局部出现球粒结构,岩石受后期热液改造发生绢云母化、硅化、黄铁矿化等现象(图2-a、b)。

锆石U-Pb同位素测年在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成,所用仪器为VG AXIOM型高分辨多接收器等离子质谱仪(LA-ICP-MS)。详细实验测试过程可参见文献[15]。锆石年龄谱和图用Isoplot3.0程序完成。

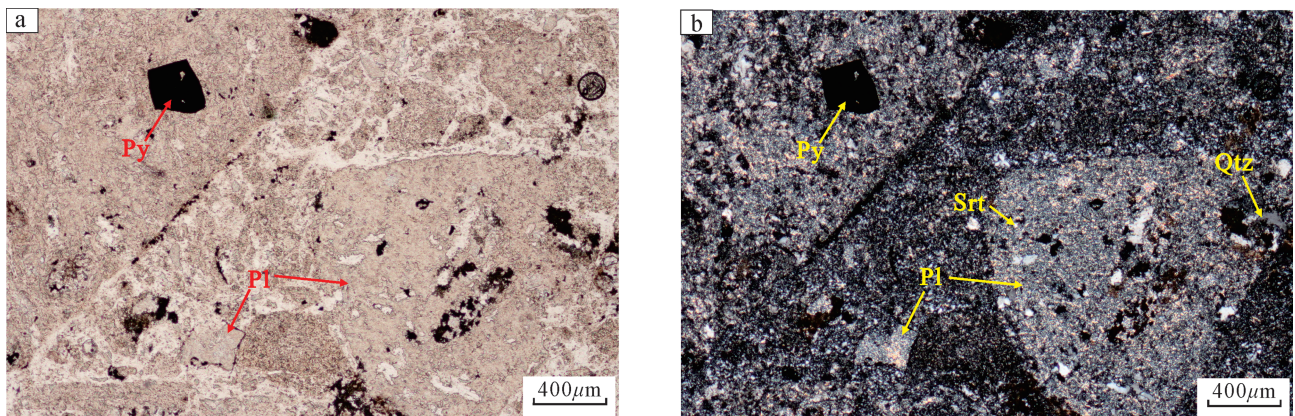


图2 比利亚谷铅锌银矿床流纹质火山角砾熔岩(k12b-2)镜下照片  
Py—黄铁矿;Pl—斜长石;Srt—绢云母;Qtz—石英(a—单偏光;b—正交偏光)

Fig.2 Photomicrograph of rhyolitic volcanic breccias lava (k12b-2) from the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit  
(a-Plainlight; b-Crossed nicols)  
Py-Pyrite; Pl-Plagioclase; Srt-Sericite; Qtz-Quartz



对2件流纹岩样品(k12b-1、k12b-8)和1件流纹质火山角砾熔岩样品(k12b-7)进行了主量、微量和稀土元素分析。测试工作在国土资源部沈阳地质矿产研究所实验室完成。主量元素采用玻璃熔片大型X射线荧光光谱法(XRF)分析完成,分析精度优于3%。微量和稀土元素采用ICP-MS分析完成,分析精度优于5%。

## 4 分析结果

### 4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果

比利亚谷铅锌银矿床流纹质火山角砾熔岩中的锆石呈无色透明一半透明、自形一半自形的四方柱状、四方双锥状,少量呈不规则粒状、次棱角状,粒径一般在 $50\sim 150\mu\text{m}$ ,晶体长宽比一般为2~4。阴极发光图像显示(图3),锆石内部结构较为清晰,大部分颗粒显示明显的韵律生长环带,具有岩浆成因锆石的特点。

LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素测试数据显示(表1),锆石中Th/U比值在0.66~1.56,均大于0.5,显示锆石具有岩浆锆石的特点。18个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄比较一致,为 $(151\pm 3)\sim(166\pm 3)$  Ma,相应的数据点在谐和曲线上集中分布,其加权平均年龄值为 $(159.2\pm 1.8)$  Ma,MSWD=2.1(图4),代表流纹质火山角砾熔岩的

形成年龄为晚侏罗世早期,与大兴安岭北部地区满克头鄂博组火山岩的形成时代相近<sup>[16]</sup>。

### 4.2 主量元素分析结果

比利亚谷铅锌银矿床赋矿围岩的主量元素测试结果及相关参数如表2所示。结果表明,矿区赋矿围岩中 $\text{SiO}_2$ 质量分数变化范围在68.31%~77.18%,其中流纹岩样品的 $\text{SiO}_2$ 含量最高,均在70%以上;全碱含量均较低, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 在3.53%~4.43%; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值较低,在0.03~0.05,具有富钾低钠的特点;火山岩的A/CNK比值在2.18~3.24,显示铝过饱和的特点。在TAS图解上(图5-a),流纹质火山角砾熔岩样品投点分布在英安岩区,流纹岩样品则分布在流纹岩区。在 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解上可以看出(图5-b),2类岩石属于高钾钙碱性系列范围或中钾—高钾质分布区。样品里特曼指数 $\delta$ 为0.36~0.77,均属于钙碱性系列。

### 4.3 微量、稀土元素分析结果

矿区火山岩的微量、稀土元素分析结果及相关参数如表2所示,结果表明,流纹岩的稀土元素总量较低, $\Sigma\text{REE}$ 在 $93.65\times 10^{-6}\sim 98.94\times 10^{-6}$ ,明显低于流纹质火山角砾熔岩( $\Sigma\text{REE}=151.74\times 10^{-6}$ );3件样品的LREE/HREE比值为9.52~12.46,显示出轻稀土元素与重稀土元素分异明显的特点, $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 值为

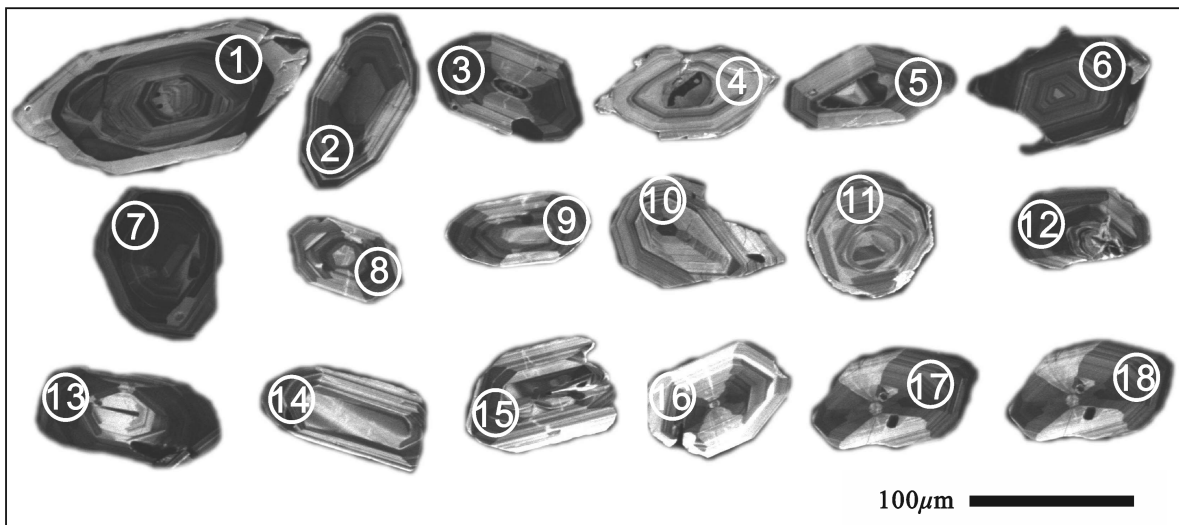


图3 比利亚谷铅锌银矿床流纹质火山角砾熔岩(k12b-2)锆石阴极发光图像

Fig.3 CL images of zircons from the rhyolitic volcanic breccia lava (k12b-2) of the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit



表 1 比利亚谷铅锌银矿床流纹质火山角砾熔岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of the rhyolitic volcanic breccia lava from the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit

测点	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		t( <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U)/Ma	
		比值	误差(1δ)	比值	误差(1δ)	比值	误差(1δ)	比值	误差(1δ)	年龄	误差(1δ)
1	0.93	0.0493	0.0094	0.1713	0.0325	0.0252	0.0005	0.0086	0.0008	160	3
2	0.87	0.1767	0.0084	0.7252	0.0315	0.0298	0.0007	0.0205	0.0012	158	4
3	1.06	0.0492	0.0036	0.1670	0.0121	0.0246	0.0005	0.0092	0.0005	157	3
4	1.36	0.0493	0.0046	0.1693	0.0155	0.0249	0.0004	0.0083	0.0005	159	3
5	0.94	0.1227	0.0049	0.4702	0.0177	0.0278	0.0005	0.0151	0.0008	160	2
6	0.84	0.4088	0.0119	2.7175	0.0709	0.0482	0.0009	0.0702	0.0036	166	3
7	0.79	0.0494	0.0042	0.1721	0.0142	0.0253	0.0005	0.0096	0.0006	161	3
8	1.56	0.1788	0.0051	0.7658	0.0206	0.0311	0.0005	0.0169	0.0009	165	2
9	0.66	0.0492	0.0040	0.1705	0.0135	0.0251	0.0005	0.0093	0.0007	160	3
10	0.73	0.0495	0.0099	0.1719	0.0342	0.0252	0.0006	0.0098	0.0008	161	4
11	0.90	0.0493	0.0039	0.1728	0.0133	0.0254	0.0005	0.0095	0.0006	162	3
12	1.02	0.0493	0.0036	0.1740	0.0126	0.0256	0.0004	0.0090	0.0006	163	3
13	0.69	0.2195	0.0089	0.9746	0.0377	0.0322	0.0006	0.0317	0.0019	160	2
14	1.02	0.1129	0.0042	0.4174	0.0148	0.0268	0.0004	0.0132	0.0008	156	2
15	1.02	0.0687	0.0048	0.2378	0.0161	0.0251	0.0005	0.0099	0.0006	155	2
16	0.95	0.0850	0.0054	0.2926	0.0179	0.0250	0.0005	0.0106	0.0007	151	3
17	1.23	0.0491	0.0044	0.1631	0.0143	0.0241	0.0004	0.0083	0.0005	154	3
18	1.34	0.0492	0.0024	0.1690	0.0082	0.0249	0.0004	0.0082	0.0005	159	2

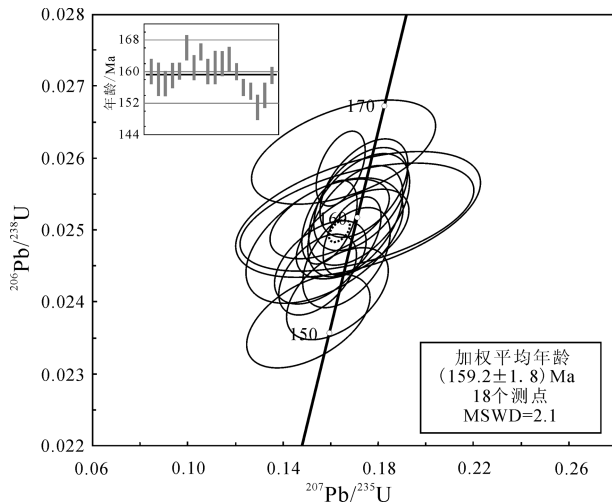


图 4 比利亚谷铅锌银矿床火山岩锆石 U-Pb 年龄谱和图 Fig.4 U-Pb concordia diagram and the weighted age (bottom right corner) of zircons from the rhyolitic volcanic breccia lava of the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit

8.82~12.70; 样品均具有弱的 Ce 负异常 ( $\delta Ce=0.82 \times 10^{-6} \sim 0.88 \times 10^{-6}$ ) 和 Eu 负异常 ( $\delta Eu=0.48 \times 10^{-6} \sim 0.87 \times 10^{-6}$ )。样品的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线 (图 6-a) 均呈现出轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的向右倾斜的特点。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图上 (图 6-b) 可以看出, 本矿区火山岩 (流纹岩、流纹质火山角砾熔岩) 富集 Rb、Th 等大离子亲石元素 (LILE), 而 Sr 元素普遍亏损, 这表明岩石产于板内构造环境, 亏损 Nb、Ta 等高场强元素 (HFSE)。

## 5 讨 论

### 5.1 矿床地质特征对其成因的制约

矿区火山喷发活动强烈, 火山热液活动与成矿关系十分密切, 矿体即赋存于上侏罗统满克头鄂博组酸性火山岩中, 主矿体多呈脉状、透镜体状分布在断裂裂隙中, 围岩蚀变主要为硅化、碳酸盐化、绢

表2 比利亚谷铅锌银矿床赋矿围岩的主量元素(%)、微量和稀土元素( $10^{-6}$ )分析结果  
 Table 2 Compositions of major elements (%) and trace elements ( $10^{-6}$ ) of the ore-hosting wall rocks from the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit

分析项目	k12b-1	k12b-7	k12b-8	分析项目	k12b-1	k12b-7	k12b-8
	流纹岩	流纹质火山 角砾熔岩	流纹岩		流纹岩	流纹质火山 角砾熔岩	流纹岩
Na <sub>2</sub> O	0.14	0.15	0.18	Cs	13.58	21.61	22.18
MgO	0.87	0.94	0.58	Th	8.27	7.26	3.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.74	14.22	14.93	Ga	32.15	13.83	16.06
SiO <sub>2</sub>	77.18	68.31	75.21	Sc	2.94	5.13	2.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.031	0.23	0.039	Hf	4.67	5.40	6.28
K <sub>2</sub> O	3.39	4.28	3.89	Ta	0.38	0.44	0.61
CaO	0.81	0.42	0.05	Y	7.44	14.34	12.58
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.49	0.21	La	21.68	33.34	21.76
MnO	0.16	0.85	0.02	Ce	38.48	60.28	41.05
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.22	5.54	1.77	Pr	5.04	8.23	5.22
FeO	1.17	3.36	0.41	Nd	18.08	31.09	18.34
LOI	3.18	4.48	2.88	Sm	2.81	5.07	2.76
Total	99.85	99.89	99.77	Eu	0.60	0.93	0.40
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	3.53	4.43	4.08	Gd	1.88	3.52	2.21
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.05	Tb	0.30	0.59	0.40
A/CNK	2.18	2.52	3.24	Dy	1.70	3.28	2.46
A/NK	3.00	2.91	3.30	Ho	0.35	0.66	0.51
里特曼指数 $\delta$	0.36	0.77	0.52	Er	1.18	2.04	1.58
Ba	778	150	358	Tm	0.18	0.34	0.26
Co	2.02	2.37	1.92	Yb	1.15	2.00	1.67
Cr	16.01	7.51	8.80	Lu	0.21	0.37	0.30
Ni	4.16	0.08	0.91	$\Sigma$ REE	93.65	151.74	98.94
Nb	6.98	10.14	11.18	LREE	86.70	138.94	89.53
Rb	116.79	213.16	104.61	HREE	6.96	12.80	9.41
Sr	53.48	25.47	36.80	LREE/HREE	12.46	10.86	9.52
V	13.27	42.60	16.47	(La/Yb) <sub>N</sub>	12.70	11.25	8.82
Zr	138.67	202.72	212.58	$\delta$ Eu	0.75	0.64	0.48
Li	13.93	24.05	4.22	$\delta$ Ce	0.84	0.83	0.88

云母化、绿泥石化、高岭土化等低温蚀变类型。这些矿床地质特征与区域上东郡、二道河、得耳布尔等铅锌矿十分相似(表3)。经野外观察发现,在流纹岩中发现细脉状的铅锌矿化沿流动构造分布,又有少量方铅矿呈浸染状分布于流纹岩中,所以有理由认为流纹岩与铅锌矿化存在成因联系,它们为同一构造岩浆演化活动的产物,成矿物质可能由该期

岩浆活动提供,且该期岩浆活动晚期为矿物质沉淀的高峰。

矿区火山岩(流纹岩、流纹质火山角砾熔岩)具有富集大离子亲石元素、相对亏损高场强元素、普遍亏损Sr元素、轻稀土元素富集、重稀土元素亏损、具弱的负Eu异常等特征,与同属一成矿区带的得耳布尔铅锌矿床、二道河子铅锌矿床、东郡铅锌银矿

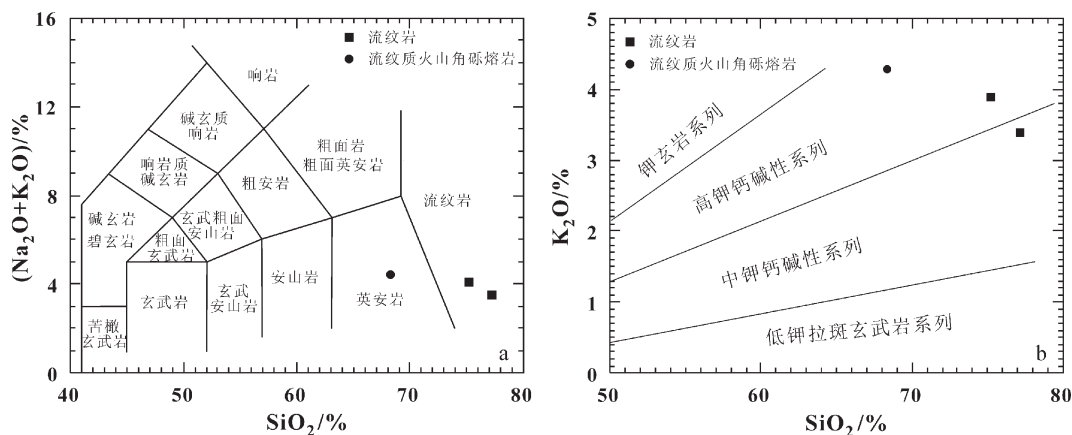


图5 比利亚谷铅锌银矿床赋矿围岩TAS图解(a)和SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解(b)

Fig. 5 TAS (a) and SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O (b) diagrams of the ore-hosting wall rocks from the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit

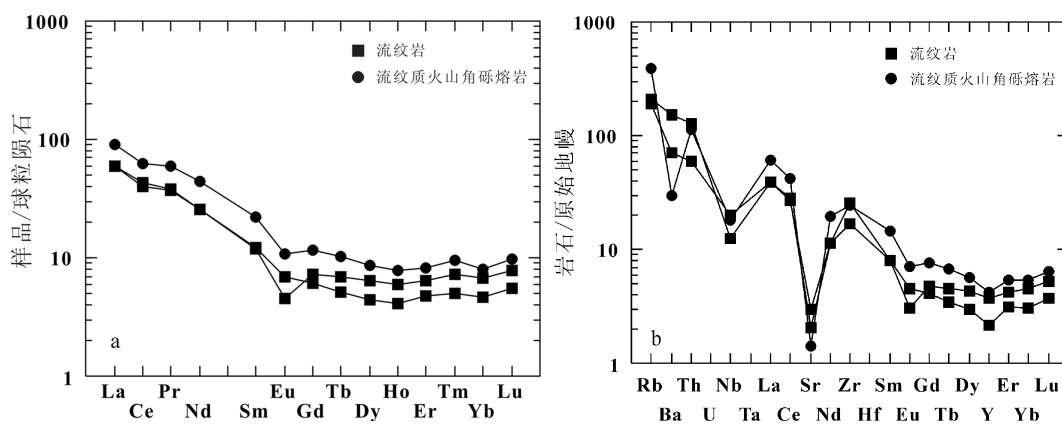


图6 比利亚谷铅锌银矿床赋矿围岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)  
(球粒陨石标准化数据和原始地幔标准化数据分别据参考文献[17]和[18])

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized multi-element patterns (b) of ore-hosting wall rocks from the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit  
(chondrite-normalized and primitive mantle-normalized data after reference [17] and [18], respectively)

床的赋矿围岩相似,且其形成时代相近(表3),反映了该区带内的铅锌矿化可能受同一期岩浆演化活动控制。值得注意的是,除东郡铅锌银矿床赋矿围岩为中基性火山岩外,二道河子铅锌矿床和得耳布尔铅锌矿床的赋矿围岩均与酸性火山岩或次火山岩关系密切,与比利亚谷铅锌银矿床相似,而且前人对3处矿床的赋矿火山岩与其成矿关系的研究结果表明成矿作用主要发生于岩浆期后的火山一次火山热液活动,与比利亚谷铅锌银矿床相似。

综合矿床受断裂构造控制、成矿物质来源于与火山岩有关的岩浆活动、围岩蚀变为中低温蚀变类

型等特征,初步认为比利亚谷铅锌银矿床为中低温热液脉型矿床。

## 5.2 成岩成矿时代

本文未获得直接成矿年龄,但由于早期铅锌矿化赋存于矿区流纹岩中,与流纹岩存在成因联系,而大量的铅锌矿化沉淀时间始于岩浆活动末期的构造裂隙中,因此矿区流纹质火山角砾熔岩的形成年龄可大致代表铅锌矿化的起始时间。LA-ICP-MS 锆石U-Pb测年结果表明,流纹质火山角砾熔岩的形成年龄为(159.2±1.8) Ma,为晚侏罗世早期岩浆活动的产物,故推测该矿床的成矿作用时代始于



表3 典型矿床地质及地球化学特征对比  
Table 3 Comparison of geological and geochemical characteristics between typical deposits

矿床特征	东郡铅锌银矿床	二道河子铅锌矿床	得耳布尔铅锌矿床
赋矿围岩	灰色安山岩、玄武粗面安山岩、粗面安山岩等	岩屑晶屑凝灰岩、安山岩	安山岩、石英斑岩
控矿构造	NW向断裂	NW向断裂	NW、NNW向张性断裂
矿体特征	NW-NNW向脉状	多呈NW向的脉状,少量为透镜状	以蚀变岩型浸染状矿体为主,其次为以贯入为主的块状矿体
金属矿物	主要为方铅矿、闪锌矿、毒砂、黄铁矿,次为黄铜矿、褐铁矿、赤铁矿、硬锰矿等	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿,少量黄铜矿和毒砂等	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等
围岩蚀变	硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、高岭石化,局部发生钾化	硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化等	硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、钠长石化、明矾石化、碳酸盐化等
围岩地球化学特征	富碱,轻稀土相对富集,弱负Eu异常,富集Rb、U、Th、K等大离子亲石元素,亏损Nb、Ta、Ti等高场强元素	亚碱性系列岩石,富集Rb、U、Th等大离子亲石元素,亏损Sr元素,相对亏损Nb、Ta和Ti等高场强元素,轻稀土富集重稀土亏损,弱负Eu异常	轻稀土富集,负Eu异常
围岩形成时代	(166±3.7) Ma (玄武粗面安山岩)	(164.2±2.3) Ma (岩屑晶屑凝灰岩)	
成矿与围岩的关系	成矿作用与岩浆期后的火山一次火山岩热液有关	成矿物质由与火山岩有关的岩浆系统提供,含矿岩体可能为晚期岩浆作用形成的次火山岩	含矿岩体为石英斑岩,与安山岩关系密切
成矿物质来源	源于深部,有壳源物质参与	源于地幔,有壳源物质混染	具深源特征
矿床成因	热液型	充填交代热液型	中低温热液脉型
参考文献	[19-21]	[22-23]	[14, 23-25]

晚侏罗世早期。

### 5.3 岩浆起源及其与成矿的关系

稀土元素在探讨成矿物质来源方面具有一定的指示意义<sup>[26]</sup>。矿区火山岩轻稀土元素与重稀土元素分异明显,具有幔源属性;在Eu-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)图解(图7)中,火山岩均落于壳幔混源区域附近,表明岩浆除了来源于地幔外,还发生了地壳的混染作用。

结合区域研究成果<sup>[27-28]</sup>,中—晚侏罗世为古亚洲构造域向太平洋构造域的转换时期,时值古太平洋板块俯冲的间歇期,而西伯利亚板块相对于中蒙地块发生旋转,造成鄂霍茨克板块自西向东剪刀式闭合,从而在转动块体后缘产生拉张作用。由于拉张作用诱发上地幔发生部分熔融,促使幔源含矿岩浆上升,并携带地壳古老基底在近地表有利的位置富集成矿。

## 6 结论

(1) 比利亚谷铅锌银矿床产于上侏罗统满克头鄂博组酸性火山岩地层中,主矿体受断裂裂隙控制,为岩浆活动晚期分异演化的含矿热液充填交代而形成的脉状矿床。

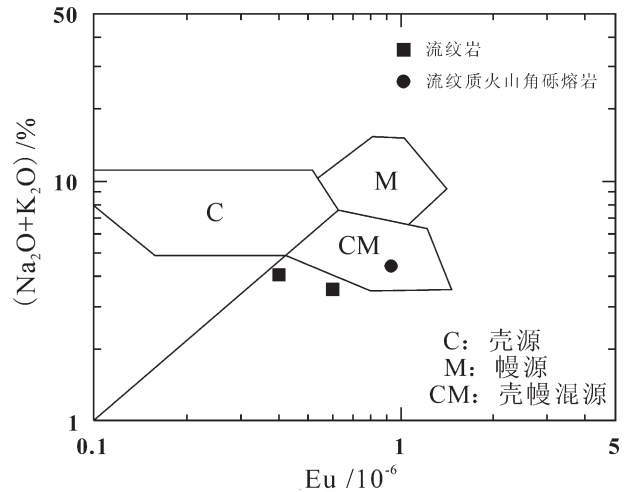


图7 比利亚谷铅锌银矿床赋矿围岩Eu-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)图解  
Fig.7 Eu-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) diagram of the ore-hosting rocks from the Biliyagu Pb-Zn-Ag deposit

(2) 矿区火山岩的成岩时代为(159.2±1.8) Ma,属晚侏罗世早期,为混有壳源物质的幔源岩浆形成,并与成矿具有成因联系。

(3) 成矿物质由与火山岩有关的岩浆活动提供,成矿作用与火山岩的结晶成岩过程同时发生,

并在该期岩浆活动晚期达到高峰。依据火山岩的成岩年龄推测成矿时代始于晚侏罗世。

**致谢:**审稿专家及编辑部杨艳博士对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

### 参考文献(References):

- [1] 朱群, 武广, 张炯飞, 等. 得耳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. Derbugan metallogenic belt mineralization zoning and exploration technology research progress[J]. *Geology in China*, 2001, 28(5): 19-27 (in Chinese with English abstract).
- [2] 余宏全, 李红红, 李进文, 等. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌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 metallogenetic characteristics and prospecting direction of the Copper-Lead-Zinc polymetal deposits in the Northern-Central Daxing'anling Mountain, Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(10): 1456-1472 (in Chinese with English abstract).
- [3] 毛景文, 周振华, 武广, 等. 内蒙古及邻区矿床成矿规律与成矿系列[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 715-729.  
Mao Jingwen, Zhou Zhenhua, Wu Guang, et al. Metallogenic regularity and minerogenetic series of ore deposits in Inner Mongolia and adjacent areas[J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(4): 715-729 (in Chinese with English abstract).
- [4] 赵一鸣, 吴良士, 白鸽, 等. 中国主要金属矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2004.  
Zhao Yiming, Wu Liangshi, Bai Ge, et al. Metallogeny of the Major Metallic Ore Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004 (in Chinese with English abstract).
- [5] 邱瑞照, 周肃, 谭永杰, 等. 中国北方大陆及邻区岩石圈演化及与大规模成矿作用关系[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 544-563.  
Qiu Ruizhao, Zhou Shu, Tan Yongjie, et al. Relationship of the evolution of the lithosphere to large-scale mineralization in the continent of northern China and adjacent areas[J]. *Geology in China*, 2009, 36(3): 544-563 (in Chinese with English abstract).
- [6] Le Bas M J, Le Matire R W, Streckeisen A, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. *Journal of Petrology*, 1986, 27: 745-750.
- [7] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Can. J. Earth Sci.*, 1971, 8: 523-548.
- [8] 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴蒙-吉黑地区岩石圈结构基本特征[J]. 中国地质, 2006, 33(4): 816-823.  
Zhang Xingzhou, Yang Baojun, Wu Fuyuan, et al. The lithosphere structure in the Hingmong-Jihe region, northeastern China[J]. *Geology in China*, 2006, 33(4): 816-823 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐美君, 许文良, 孟恩, 等. 内蒙古东北部额尔古纳地区上护林-向阳盆地中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. 地质通报, 2011, 30(9): 1321-1338.  
Xu Meijun, Xu Wenliang, Meng En, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology and geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Shanghulin-Xiangyang basin in Ergun area, northeastern Inner Mongolia[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(9): 1321-1338 (in Chinese with English abstract).
- [10] 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1209-1226.  
Meng En, Xu Wenliang, Yang Debin, et al. Zircon U-Pb chronology, geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Lingquan basin in Manzhouli area, and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(4): 1209-1226 (in Chinese with English abstract).
- [11] Fan W M, Guo F, Wang Y J, et al. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2003, 121: 115-135.
- [12] Meng Q R. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? [J]. *Tectonophysics*, 2003, 369: 155-174.
- [13] 张吉衡. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2009.  
Zhang Jiheng. Geochronology and Geochemistry of the Mesozoic Volcanic Rocks in the Great Xing'an Range, Northeastern China[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [14] 武广. 大兴安岭北部区域成矿背景与有色、贵金属矿床成矿作用[D]. 长春: 吉林大学, 2006.  
Wu Guang. Metallogenic Setting and Metallogenesis of Nonferrous-Precious Metals in Northern Da Hinggan Mountain[D]. Changchun: Jilin University, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [15] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.  
Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS[J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(4): 481-492 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈英富, 王根厚, 段炳鑫. 内蒙古东乌珠穆沁旗辉音敖包一带晚侏罗世火山岩特征及时代[J]. 中国地质, 2012, 39(6): 1690-1699.  
Chen Yingfu, Wang Genhou, Duan Bingxin. Zircon SHRIMP geochronology and geochemistry of Late Jurassic volcanic rocks in Huiyin Obo area of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1690-1699 (in Chinese with English abstract).
- [17] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition

- and evolution, an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks[J]. Oxford, Blackwell Science, 1985.
- [18] Boynton W V. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite studies//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry: Development in Geochemistry[M]. Amsterdam: Elsevier, 1984: 3-107.
- [19] 张斌, 李进文, 张德全, 等. 内蒙古海拉尔盆地东郡铅锌银矿床地球化学特征[J]. 地质论评, 2011, 57(2): 253-260.  
Zhang Bin, Li Jinwen, Zhang Dequan, et al. Geochemic features of Dongjun Lead-Zinc-Silver deposit, Hailar basin, Inner Mongolia[J]. Geological Review, 2011, 57(2): 253-260 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张斌. 内蒙古东郡铅锌银矿床地质特征及成因研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.  
Zhang Bin. The Geological Features and Genesis of the Dongjun Lead-Zinc-Silver Deposit in Inner Mongolia, China[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [21] 尹志刚, 赵海滨, 赵寒冬, 等. 大兴安岭北端塔木兰沟组玄武质岩石的地球化学特征及构造背景[J]. 地质通报, 2005, 24(9): 848-853.  
Yin Zhigang, Zhao Haibin, Zhao Handong, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of basaltic rocks of the Tamulangou Formation at the northern end of the Da Hinggan Mountains, China[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(9): 848-853 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李进文, 梁玉伟, 王向阳, 等. 内蒙古二道河子铅锌矿成因研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1745-1754.  
Li Jinwen, Liang Yuwei, Wang Xiangyang, et al. The origin of the Erdaohezi lead-zinc deposit, Inner Mongolia[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1745-1754 (in Chinese with English abstract).
- [23] 田世良, 金力夫, 双宝. 额尔古纳成矿带脉状银(铅锌)矿床与塔木兰沟组火山岩的成矿关系[J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4(6): 334-340.  
Tian Shiliang, Jin Lifu, Shuang Bao. The relationship between vein type Ag (Pb Zn) deposits and volcanic rocks of the Tamulangou Formation in the Ergun ore belt[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1995, 4(6): 334-340 (in Chinese with English abstract).
- [24] 毛爱生, 邢琳, 刘智明. 得耳布尔银铅锌矿床地质特征及找矿标志[J]. 吉林地质, 2007, 26(3): 18-21.  
Mao Aisheng, Xing Lin, Liu Zhiming. Geologic features, ore-hunting indicator of the Deerbuer Ag-Pb-Zn deposit[J]. Jilin Geology, 2007, 26(3): 18-21 (in Chinese with English abstract).
- [25] 郑广如, 卢建中, 余学中. 内蒙古得耳布尔北部地区航磁反映的断裂构造和岩性特征[J]. 物探与化探, 2004, 28(5): 388-393.  
Zheng Guangru, Lu Jianzhong, Yu Xuezhong. Fault structures and lithologic characters reflected by aeromagnetic survey in northern Derbur, Inner Mongolia[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2004, 28(5): 388-393 (in Chinese with English abstract).
- [26] 李闰华, 鄢云飞, 谭俊, 等. 稀土元素在矿床学研究中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2007, 22(4): 294-298.  
Li Yanhua, Yan Yunfei, Tan Jun, et al. The application of rare earth elements in research of ore deposits[J]. Geological Prospecting Review, 2007, 22(4): 294-298 (in Chinese with English abstract).
- [27] 徐志刚. 初论开合构造方式[J]. 地质通报, 2004, 23(3): 238-245.  
Xu Zhigang. On opening-closing patterns[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(3): 238-245 (in Chinese with English abstract).
- [28] 许文良, 王枫, 裴福萍, 等. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景: 来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(2): 339-353.  
Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, et al. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: Constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(2): 339-353 (in Chinese with English abstract).



## Geological and geochemical characteristics and genesis of the Biliyagu lead–zinc–silver deposit, Inner Mongolia

WU Tao–tao, ZHAO Dong–fang, SHAO Jun, BAO Qing–zhong, WANG Hong–bo

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

**Abstract:** Located in the northwest of Hailar–Genhe Mesozoic volcanic basin, the Biliyagu lead–zinc–silver deposit occurs in the Upper Jurassic Manketouebo Formation acidic volcanic rocks and is controlled by the NW–trending faults, with the orebodies being mainly of vein type. LA–ICP–MS zircon U–Pb dating of rhyolitic volcanic breccia lava indicates that its age is  $(159.2\pm 1.8)$  Ma. Based on the relationship between the rock and the mineralization, the authors hold that the deposit was formed in late Jurassic. Major element geochemistry of rhyolitic volcanic breccia lava and rhyolite is characterized by high  $\text{SiO}_2$  (68.31%–77.18%), potassium (3.39%–4.28%), and aluminum (11.74%–14.93%) and low sodium (0.14%–0.18%), suggesting high potassium calc–alkaline series. The REE content of rocks is low ( $93.65\times 10^{-6}$ – $98.94\times 10^{-6}$ ), and has characteristics of high LREE and LREE/HREE ratios as well as weak Ce negative anomaly and Eu negative anomaly. Combined with the features of the rocks such as the loss of the Sr and the obvious enrichment of LREE, it is inferred that the volcanic rocks originated from the plate. The magma of rocks might have been derived from the upper mantle and mixed with crustal materials. Combining this study with regional tectonic evolution characteristics, the authors hold that the deposit was formed during the closure period of Okhotsk plate in a tensile extension environment.

**Key words:** lead–zinc–silver deposit; geochemistry; LA–ICP–MS zircon U–Pb dating; genesis; Biliyagu

---

**About the first author:** WU Tao–tao, male, born in 1988, assistant engineer, majors in mineralogy petrology and deposit geology and engages in solid mineral exploration and mineral deposit research; E–mail: 553583730@qq.com.