内蒙古赤峰市白音诺尔铅锌矿二长花岗岩地球化学 及锆石U-Pb年代学研究

段明,李志丹*,王国明,高智睿,张锋,魏佳林,谢瑜,闫国强 (中国地质调查局天津地质调查中心,非化石能源矿产实验室,天津 300170)

摘 要:內蒙古赤峰市白音诺尔铅锌矿床是大兴安岭地区储量最大的铅锌矿床。该矿床位于白音乌拉火山机构的 北部,矿区范围内出露二长花岗岩和花岗闪长(斑)岩侵入体,与黄岗梁组大理岩或结晶灰岩接触带附近发育系列砂 卡岩,铅锌矿体主要产于透辉石砂卡岩中,属于砂卡岩型矿床。二长花岗岩地球化学显示富硅(SiO₂=68.98%~ 75.44%),高铝(Al₂O₃=12.49%~15.62%)、低镁(Mg=0.1%~1.25%),富碱(Na₂O+K₂O=7.73%~8.80%,Na₂O/K₂O=0.96~1.33) 的特点,属于高钾钙碱性系列的准铝质花岗岩。稀土配分呈轻稀土富集型分布模式,稀土总量变化于127.4×10⁻⁶~ 145.95×10⁻⁶之间,存在较弱的正Ce异常和明显的Eu负异常,微量元素表现为Rb、Th、K等大离子亲石元素富集,而 Nb、Ta、P、Ti等高场强元素亏损的特征。在Rb-(Y+Nb)、Rb-(Yb+Ta)构造环境判别图解中,所有样品均落入火山弧花岗 岩构造环境中。两件二长花岗岩锆石LA-ICP-MS法U-Pb年龄为254.8±1.6 Ma和245.6±3.5 Ma,将岩浆岩侵入及相 关的成矿作用限定为古生代末期,推测在晚古生代末期古亚洲洋局部残留洋盆的俯冲是形成白音诺尔二长花岗岩 及成矿的动力学机制。

关键词:铅锌矿床;二长花岗岩;锆石U-Pb年代学;岩石地球化学;白音诺尔;内蒙古

中图分类号: P597⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4135(2016)03-0161-08

内蒙古赤峰市白音诺尔铅锌矿床位于大兴安岭 成矿带的中南部^[1],是大兴安岭地区储量最大的铅锌 矿床,伴生可综合利用的银、镉等元素,其与浩布高 铅锌铜锡矿床和黄岗铁锡矿床等构成我国北方重要 的铅锌和锡矿产地。前人对该矿床开展过大量研究 工作[1-9],取得了重要的进展。多数学者认为该矿床 为花岗岩类侵入体与黄岗梁组大理岩或结晶灰岩接 触带形成的矽卡岩型铅锌矿床[1-2,8],但也有少数学者 认为是喷流沉积型^[3]。关于矿床形成时代,有人认为 主成矿期为二叠纪同时有燕山期成矿作用的叠加^[3], 但也有人认为印支早期岩浆活动对成矿影响巨大[6-7]. 并伴有燕山晚期岩浆热液成矿作用的叠加。为 此,本次工作选择矿区与成矿密切相关的二长花岗 岩,进行系列岩石学、矿石学、岩石地球化学和LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,结合矿床地质产状厘定二 长花岗岩与砂卡岩型矿床的内在联系,以期揭示岩 浆作用与矿床形成之间的成因关系,为深入研究区 域成矿规律提供参考。

1矿床地质概况

白音诺尔铅锌矿床位于内蒙古赤峰市巴林左旗林 东镇北约87km处,矿床所处的大地构造位置为天 山-蒙古-兴安造山带东部,白音诺尔-景峰北东向断 裂与白音诺尔-罕庙东西向断裂交汇处^[6]。

矿区位于白音乌拉火山机构的北部,地层主要 出露下二叠统黄岗梁组和上侏罗统满克头鄂博组。 前者为一套浅变质的海相砂泥质-碳酸盐岩建造,由 下至上可划分粉砂泥质板岩、大理岩和结晶灰岩、泥 质板岩三个岩性段。后者以角度不整合覆盖于黄岗 梁组之上,底部为凝灰质角砾岩夹凝灰岩,上部为熔 结凝灰岩及安山岩。下二叠统黄岗梁组的大理岩和 结晶灰岩是主要的容矿围岩。

矿区岩浆岩分布广泛,主要有呈岩枝、岩脉产出 的花岗闪长岩、二长花岗岩、石英斑岩、安山玢岩、正 长斑岩等。岩浆岩与成矿关系密切。

矿区构造形态复杂,白音诺尔背斜是主要控矿

收稿日期:2016-06-01

资助项目:中国地质调查项目"内蒙古锡林浩特地区1/5万航磁异常筛选与评价12120113057100,阴山地区成矿规律与找矿方向研究12120113057300)"联合资助

作者简介:段明(1983-),男,2009年毕业于吉林大学,获硕士学位,工程师,从事矿产勘查与研究工作。*通讯作者:李志丹 (1986-),男,工程师,从事矿床学研究工作,E-mail:cugcug@qq.com。

构造,其核部为泥质板岩,两翼为大理岩,控制矿区 南北矿带。断裂广泛发育,多为成矿后断裂,以NE 向为主,其次为NE向,EW向和近SN向,常见矿体被 断裂切割(图1)。

矿区内矿体数量较多、形态复杂、常成群(或带) 分布。主要赋存在花岗闪长(斑)岩、二长花岗岩与 黄岗梁组大理岩或结晶灰岩接触带附近,构成外砂 卡岩带^[2],主要包括辉石砂卡岩、石榴石砂卡岩、石榴 石-辉石砂卡岩和辉石-石榴石砂卡岩的类型。其 中,矿床西部以石榴石砂卡岩为主,东部主要为辉石 砂卡岩^[6],铅锌工业矿体多发育于透辉石砂卡岩中。

目前共发现工业矿体162个,以NE向褶皱轴为 界,分南、北两个矿带。其中北矿带包括矿体54个, 南矿带包括108个。单个矿体常呈透镜状、鞍状和脉 状产出于层间破碎带的矽卡岩内,多个矿体构成和 层面近于协调或斜交的似层状矿体。矿石中主要金 属矿物为方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿和黄铜矿,其次 为黄铁矿、毒砂和磁铁矿^[2]。

2样品及实验测试

用于测年及岩石地球化学分析的二长花岗岩样 品采自白音诺尔铅锌矿南矿带露天采坑,所有样品 均经过手标本和显微镜观察,挑选的无蚀变或蚀变 甚弱的样品。

主量元素在天津地质调查中心运用PW4400/40 X射线荧光光谱法开展测试,其中FeO采用氢氟酸-硫 酸溶样、重铬酸钾滴定的容量法,分析偏差优于2%; 微量元素使用X Series II 等离子体质谱仪测试。当元 素含量大于10×10°时,分析偏差优于5%,当元素含量 <10×10°时,其分析偏差优于10%。分析结果见表1。



图1 白音诺尔铅锌矿床地质简图(据参考文献[6])

 Fig.1 Simplified geological map of the Baiyinnuoer Pb-Zn deposit (after Jiang et al., 2011)

 上侏罗统满克头鄂博组:1.流纹质熔结凝灰岩;2.安山岩;3.流纹质凝灰岩;4.凝灰质砾岩;5.流纹质凝灰熔岩;6.流纹质

 角砾熔岩;下二叠统黄岗梁组:7.泥质板岩;8.大理岩;9.粉砂泥质板岩;燕山期火山岩:10.安山玢岩;11.石英斑岩;12.

 正长斑岩;13.花岗闪长岩;14.铅锌矿体;15.砂卡岩;16.角岩;17.实测/推测断层;18.背斜轴

表1 白音诺尔铅锌矿二长花岗岩主量元素(w_B/%)、 微量元素(w_B/10⁻⁶)分析结果

Tab.1 Major (w_B /%) and trace (w_B /10⁻⁶) element contents for monzonitic granite in Baiyinnuoer lead–zinc deposit

样号	GSY3/BYN4	GSY4/BYN4	GSY1/BYN3	GSY2/BYN3
SiO	75 44	69.19	68.98	69.10
Al ₂ O ₂	12.49	15.15	15.13	15.62
Fe ₂ O ₂	0.05	0.23	0.43	0.24
FeO	1 22	1 49	0.98	0.78
	0.98	2 44	2 41	2 44
MgO	0.10	1.15	1.25	1.04
K.O	4 41	4 11	4 40	4 52
Na.O	3 32	4.11	4.40	4.12
TiO	0.06	0.41	0.43	0.41
P.O.	0.002	0.93	0.094	0.100
MnO	0.002	0.073	0.054	0.100
	1.41	0.075	1.03	1.18
CO	0.67	0.90	0.20	0.26
Total	100.22	0.13	0.20	0.30
	0.07	99.09	99.80	99.90
A/CINK	1.09	0.90	1.16	1.21
A/INK	1.08	9.41	1.10	1.21
$K_2O + Na_2O$	1.73	8.41	8.8	8.04
K_2O/Na_2O	1.33	0.96	1.00	1.10
<u>σ</u>	1.83	2.68	2.95	2.83
La	26.8	26.4	29.4	23.4
Ce	/3.6	60.5	6/.1	59.0
Pr	6.32	6.31	6.86	6.05
Nd	22.3	22.4	24.7	21.9
Sm	4.05	4.35	4.43	4.24
Eu	0.10	0.66	0.78	0.78
Gd	3.89	3.70	3.86	3.77
Tb	0.57	0.53	0.60	0.59
Dy	3.21	2.95	3.30	3.08
Но	0.64	0.56	0.62	0.62
Er	1.89	1.64	1.98	1.77
Tm	0.27	0.24	0.28	0.26
Yb	2.02	1.53	1.75	1.68
Lu	0.29	0.23	0.27	0.26
Y	16.6	15.8	17.3	16.6
ΣREE	145.95	132.00	145.93	127.40
LREE	133.17	120.62	133.27	115.37
HREE	12.78	11.38	12.66	12.03
LREE/HREE	10.42	10.60	10.53	9.59
La _N /Yb _N	9.52	12.38	12.05	9.99
δEu	0.08	0.49	0.56	0.58
δCe	1.34	1.11	1.12	1.19
Cr	6.37	34.60	35.50	36.60
Ni	2.68	14.10	14.20	15.50
Со	0.51	3.63	3.90	4.81
Li	15.90	20.80	29.60	21.30
Rb	180	133	148	143
Cs	7.72	5.17	8.96	6.36
W	0.83	2.05	4.75	6.32
Мо	3.39	1.01	0.23	0.30
Ba	104	882	888	888
V	2.01	28.80	33.00	31.10
Nb	13.20	7.49	8.64	7.42
Та	1.18	0.64	0.72	0.64
Zr	125	167	180	177
Be	2.44	2.41	2.21	2.09
U	5.55	3.26	2.93	3.36
Th	15.9	14.2	15.3	14.7

注:分析测试单位为天津地质调查中心实验室

用于锆石定年的ZR1/BYN3样品显微镜下鉴定 显示,岩石具有花岗结构,主要矿物成分为石英、斜 长石、钾长石以及少量蚀变矿物绿泥石、绿帘石。其 中,石英粒度为0.1~1.5 mm,含量20%~25%,部分 与钾长石共生,构成文象结构,少量与斜长石共生呈 文象结构;斜长石呈半自形板状,聚片双晶,粒度为 0.15×0.4 mm~2×6 mm,含量30%~35%;钾长石呈 他形板状,粒度为0.25~1.25 mm,含量20%~25%; 绿帘石及绿泥石含量10%~15%。

用于锆石定年的ZR2/BYN3样品显微鉴定显示,岩石主要矿物成分为石英、斜长石、钾长石,少量 蚀变矿物绿泥石、绿帘石。其中,石英呈他形粒状, 局部可见石英与钾长石共结成文象结构,粒度为 0.1~1.5 mm,含量25~30%;斜长石呈半自形板状, 聚片双晶,具有较强粘土化,绢云母化,粒度为 0.15×0.25 mm~1.5×3 mm,含量40%;钾长石半自形 板状,以条纹长石为主,具较强的高岭土化,可见两 组近直交解理,粒度0.2~1.0 mm,含量25%;绿泥石 及绿帘石含量5%~10%。

锆石测年样品(ZR1/BYN3、ZR2/BYN3)经碎 样、分选后,在双目镜下挑选晶形完好,透明度好、无 明显裂隙的锆石颗粒,在环氧树脂中固定,抛光后进 行诱反射、阴极发光(CL)图像显微结构分析, 洗取 U-Pb定年测试的最佳区域。本文的锆石分选工作在 河北省诚信地质服务有限公司完成。锆石制靶在北 京锆年领航科技公司完成,阴极发光(CL)、透反射图 像在天津地质调查中心实验室完成。锆石U-Pb测试 在中国地质调查局天津地质调查中心实验测试室的 激光剥蚀多接收器电感耦合等离子体质谱 (LA-MC-ICP-MS)仪器上完成。采用标准锆石GJ-1 作为外标进行仪器U、Pb分馏校正,采用²⁰⁸Pb校正法 对普通铅进行校正,以NIST SRM610玻璃标样作为 外标计算锆石样品中的U、Pb、Th含量。年龄数据处 理采用ICPMSDataCal程序^[10],年龄加权平均值计算 及谐和图绘制采用Isoplot^[11]程序,测试数据误差为1 σ,实验分析结果见表2。

3分析结果

3.1 岩石地球化学特征

白音诺尔矿区二长花岗岩的主量元素、微量元 素分析结果及其相关参数列于表1。二长花岗岩的 SiO₂含量变化于68.98%~75.44%之间,具有高Al₂O₃

表2 内蒙古白音诺尔铅锌矿二长花岗岩LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb分析结果 Tab.2 LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb analytical data of monzonitic granite in Bayandulan copper deposit, Inner Mongolia

	含量(含量(×10 ⁻⁶) 同位素比值								年龄(Ma)						
测点号	DI		²⁰⁷ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb		$\sigma \frac{\frac{206}{\text{Pb}}}{\frac{238}{\text{U}}} 1 \sigma$		²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb		²⁰⁷ Pb		²⁰⁶ Pb	
	Pb	Pb U	²⁰⁶ Pb		235U	1σ		1σ	238U		²⁰⁶ Pb	1σ	235U	1σ	238U	1σ
1	34	869	0.0517	0.0008	0.290	0.005	0.0407	0.0004	0.362	0.001	272	37	259	5	257	3
2	23	589	0.0514	0.0009	0.286	0.005	0.0404	0.0004	0.229	0.001	257	39	255	5	255	2
3	20	485	0.0517	0.0009	0.289	0.005	0.0406	0.0004	0.315	0.001	272	40	258	5	256	2
4	24	573	0.0514	0.0010	0.289	0.006	0.0407	0.0004	0.337	0.001	260	46	258	6	257	3
5	14	361	0.0518	0.0011	0.291	0.007	0.0408	0.0004	0.232	0.001	276	49	260	6	258	3
6	37	914	0.0522	0.0007	0.295	0.004	0.0409	0.0004	0.227	0.001	295	31	262	4	259	3
7	19	473	0.0531	0.0015	0.301	0.009	0.0411	0.0004	0.231	0.001	331	64	267	8	260	3
8	47	1144	0.0514	0.0007	0.289	0.004	0.0407	0.0004	0.347	0.002	261	31	258	4	257	3
9	16	396	0.0516	0.0010	0.293	0.006	0.0411	0.0004	0.226	0.001	269	47	261	6	260	3
10	25	638	0.0519	0.0009	0.293	0.005	0.0410	0.0004	0.220	0.001	283	38	261	5	259	3
11	39	957	0.0523	0.0007	0.292	0.005	0.0405	0.0004	0.350	0.001	300	31	260	4	256	2
12	23	564	0.0524	0.0011	0.298	0.007	0.0412	0.0004	0.257	0.001	301	48	265	6	260	3
13	14	345	0.0533	0.0013	0.302	0.008	0.0411	0.0004	0.329	0.000	342	56	268	7	259	3
14	36	906	0.0525	0.0008	0.294	0.005	0.0405	0.0004	0.340	0.001	307	33	261	4	256	2
15	22	534	0.0527	0.0009	0.298	0.005	0.0411	0.0004	0.359	0.001	315	38	265	5	259	2
16	27	664	0.0521	0.0008	0.298	0.005	0.0415	0.0004	0.317	0.002	291	36	265	5	262	3
17	31	781	0.0533	0.0008	0.294	0.005	0.0400	0.0004	0.317	0.002	341	35	261	4	253	2
18	18	445	0.0535	0.0012	0.296	0.007	0.0402	0.0004	0.330	0.000	349	49	263	6	254	2
19	47	1197	0.0540	0.0008	0.297	0.005	0.0399	0.0004	0.247	0.000	370	31	264	4	252	2
20	20	542	0.0525	0.0009	0.289	0.005	0.0399	0.0004	0.063	0.000	309	39	258	5	252	2
21	32	794	0.0514	0.0011	0.282	0.006	0.0397	0.0004	0.399	0.001	258	50	252	6	251	2
22	42	1015	0.0521	0.0007	0.295	0.005	0.0410	0.0004	0.325	0.000	291	32	262	4	259	3
23	14	340	0.0521	0.0037	0.286	0.021	0.0397	0.0004	0.356	0.000	291	164	255	18	251	3
24	22	536	0.0541	0.0012	0.294	0.007	0.0394	0.0004	0.315	0.002	375	51	262	6	249	2
25	29	708	0.0535	0.0012	0.292	0.007	0.0396	0.0004	0.327	0.000	351	49	260	6	250	2
26	17	424	0.0526	0.0021	0.286	0.012	0.0395	0.0004	0.284	0.000	312	89	256	10	249	2
27	36	854	0.0521	0.0010	0.282	0.006	0.0393	0.0004	0.608	0.001	288	43	252	5	248	2
28	21	548	0.0524	0.0013	0.283	0.007	0.0392	0.0004	0.293	0.000	303	55	253	6	248	2
29	22	560	0.0517	0.0012	0.280	0.007	0.0392	0.0004	0.388	0.001	272	53	250	6	248	2
30	32	785	0.0539	0.0009	0.295	0.005	0.0397	0.0004	0.349	0.000	367	37	263	5	251	2
1	50	1309	0.0512	0.0007	0.280	0.004	0.0397	0.0004	0.255	0.001	248	33	251	4	251	2
2	47	1256	0.0518	0.0007	0.281	0.004	0.0393	0.0004	0.276	0.001	275	30	251	4	249	2
3	102	2720	0.0514	0.0006	0.274	0.004	0.0387	0.0004	0.376	0.003	259	29	246	4	245	2
4	39	994	0.0520	0.0009	0.280	0.005	0.0391	0.0004	0.436	0.003	287	38	251	4	247	2
5	47	1218	0.0511	0.0017	0.286	0.010	0.0405	0.0004	0.266	0.001	246	78	255	9	256	2
6	35	944	0.0511	0.0008	0.272	0.004	0.0385	0.0004	0.278	0.001	245	35	244	4	244	2
7	21	598	0.0529	0.0011	0.282	0.007	0.0387	0.0004	0.410	0.000	322	48	252	6	245	3
8	21	603	0.0524	0.0012	0.273	0.007	0.0377	0.0004	0.349	0.000	305	53	245	7	239	2
9	29	818	0.0509	0.0012	0.265	0.007	0.0378	0.0004	0.286	0.001	235	53	239	6	239	2
10	14	407	0.0515	0.0007	0.273	0.004	0.0385	0.0004	0.428	0.001	264	33	245	4	243	2
11	65	1902	0.0526	0.0007	0.272	0.004	0.0375	0.0004	0.240	0.001	310	28	244	3	238	2
12	13	338	0.0521	0.0011	0.279	0.006	0.0388	0.0004	0.284	0.000	289	49	250	6	245	2
13	34	800	0.0513	0.0012	0.285	0.007	0.0403	0.0004	0.350	0.001	254	54	255	7	255	2

注:分析测试单位为天津地质调查中心实验室

(12.49%~15.62%)、低 MgO(0.1%~1.25%),富碱 (Na₂O=3.32%~4.4%,K₂O=4.11%~4.52%,Na₂O+ K₂O=7.73%~8.80%,Na₂O/K₂O=0.96~1.33)的特 点。里特曼指数介于1.83~2.95之间;在SiO₂-K₂O 图解中,所有样品均落入高钾钙碱性系列区域内(图 2A),在A/CN-A/CNK 图解中,样品表现为准铝质特 征(图2B)。

从白音诺尔铅锌矿二长花岗岩的稀土元素球粒 陨石标准化分布图(图3A)中可以看出,稀土配分曲 线均向右倾斜,为富集轻稀土型分布模式,稀土总量 变 化 于 127.4×10⁶~145.95×10⁶之间,平均为 137.44×10⁶, LREE/HREE=9.59~10.6, (La/Yb)_N=

9.52~12.38, LREE 明显富集。δCe介于1.11~1.34 之间;δEu介于0.08~0.58之间,指示存在较弱的正 Ce异常和明显的Eu负异常。

在微量元素原始地幔标准化图解中(图3B),白 音诺尔铅锌矿二长花岗岩表现为Rb、Th、K等大离子 亲石元素(LILE)富集,而Nb、Ta、P、Ti等高场强元素 (HFSE)亏损的特征。

3.2锆石U-Pb年龄

白音诺尔铅锌矿二长花岗岩锆石阴极发光(CL) 图像及分析点位见图4。两件样品(ZR1/BYN3、ZR2/ BYN3)的锆石形态较为相似,锆石整体呈短柱状或 长柱状自形-半自形晶,颗粒长100~150μm,长宽比 大多在2/1~1/1之间,在阴极发光图像中可见清晰的 生长韵律(震荡环带),明显具有岩浆锆石特征。对 ZR1/BYN3 样品的 30粒锆石进行了LA-MC-ICP-MS U-Pb定年(表1),锆石U-Pb年龄在误差范围 内谐和(图5),²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为254.8±1.6 Ma(n=30,MSWD=3.0)。对ZR2/BYN3样品的13粒 锆石进行了LA-MC-ICP-MS U-Pb定年,锆石U-Pb 年龄在误差范围内谐和(图6),²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平 均值为245.6±3.5 Ma(n=13,MSWD=5.9)。

4讨论

4.1 成岩成矿时代

白音诺尔铅锌矿区南矿带两件二长花岗岩样品的锆石U-Pb年龄分别为254.8±1.6 Ma(MSWD=3.0, n=30)和245.6±3.5 Ma(MSWD=5.9, n=13),两个样品的年龄在误差范围内接近,限定该矿区二长花岗岩是晚二叠世-早三叠世岩浆活动的产物。

野外地质现象显示,矿区内岩浆岩深成相为粗 粒石英闪长岩,中浅成相为花岗闪长岩、二长花岗 岩、细粒石英闪长岩及闪长玢岩,这些岩石沿断裂带 层间裂隙侵入或充填于背斜轴部的虚脱空间呈脉状 或岩瘤。在矿区内花岗闪长岩、二长花岗岩、闪长玢 岩及石英斑岩等常与大理岩或灰岩直接接触,并交 代碳酸盐岩形成赋矿矽卡岩。白音诺尔铅锌成矿与











图4 白音诺尔铅锌矿二长花岗岩锆石CL图像及测点年龄

Fig.4 CL images and analytical ages of zircons for monzonitic granite in Baiyinnuoer lead-zinc deposit







图6 白音诺尔铅锌矿二长花岗岩ZR2/BYN3样品锆石U-Pb谐和图和²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值计算图 Fig.6 Zircon U-Pb age and its concordia diagram of sample ZR2/BYN3 from monzonitic granite in Baiyinnuoer lead-zinc deposit

花岗闪长岩及二长花岗岩时空相关,另外依据前人 对锌矿铅同位素研究表明矿石中硫化物的Pb同位 素比值与大理岩和花岗闪长(斑)岩非常相似,说明 成矿物质也主要来自这两类岩石,进一步证明了白 音诺尔铅锌矿床的成矿与花岗闪长(斑)岩和大理岩 关系密切^[21],而该二长花岗岩的形成时代及地球化学 特征与矿区内花岗闪长岩一致^[6],空间上共生,说明二 长花岗岩与花岗闪长岩为同一岩浆事件的产物,均与 成矿关系密切,因此矿区二长花岗岩的年龄表明白音 诺尔铅锌矿是印支早期构造岩浆活动的产物。

4.2构造背景

白音诺尔二长花岗岩的ΣREE介于127.4×10⁻⁶~ 145.95×10°之间,平均为137.44×10°,明显低于地壳 中性岩和地壳酸性岩,负Eu异常明显,中稀土元素相 对亏损(图3A),表明有斜长石、角闪石相的分离结晶 或在源区残留程度较高[16-17]。在微量元素蛛网图上, 白音诺尔二长花岗岩具有富集 LREE 以及 K、Rb、Th 等大离子亲石元素(LILE)和Nb、Ta、Ti、P等高场强 元素(HFSE)相对亏损的俯冲带岩浆组分特征^[18]。一 般与大洋俯冲有关的流体交代作用常表现出 Nb、Ta 亏损,Zr、Hf则相对REE亏损不明显的特征¹⁹,这表 明白音诺尔二长花岗岩曾受过大洋板块流体的交代 作用。Nb、Ta、Ti、P等高场强元素(HFSE)相对亏损 表明板块俯冲过程中有金红石、榍石、磷灰石和角闪 石相的残留分离。在Rb-(Y+Nb)、Rb-(Yb+Ta)构造环 境判别图解中,所有样品均落入火山弧花岗岩构造 环境中(图7)。推测在晚古生代晚期-印支早期由于 局部残留洋盆俯冲形成了白音诺尔高钾钙碱性准铝 质二长花岗岩。





5结论

内蒙古赤峰市白音诺尔铅锌矿床位于天山-蒙 古-兴安造山带东部,区域上位于白音乌拉火山机构 的北部,矿体赋存于花岗闪长(斑)岩、二长花岗岩与 黄岗梁组大理岩或结晶灰岩接触带附近的透辉石砂 卡岩中,铅锌矿体数量较多、形态复杂、常成群成带 分布。矿石中的金属矿物以闪锌矿、方铅矿、磁黄铁 矿和黄铜矿为主,其次为黄铁矿、毒砂和磁铁矿。

白音诺尔铅锌矿二长花岗岩LA-ICP-MS 锆石 U-Pb年龄为254.8±1.6 Ma和245.6±3.5 Ma,铅锌成 矿与二长花岗岩时空相关,限定白音诺尔铅锌矿是 海西晚期-印支早期构造岩浆活动的产物。

二长花岗岩高Al₂O₃、低MgO,富碱,属高钾钙碱 性系列、具准铝质特征。稀土配分曲线显示富集轻 稀土型分布模式,发育明显的Eu负异常,微量元素表 现为Rb、Th、K等大离子亲石元素(LILE)富集,而 Nb、Ta、P、Ti等高场强元素(HFSE)亏损的特征,构造 判别图解显示火山弧花岗岩构造环境。推测在晚古 生代晚期-印支早期由于局部残留洋盆俯冲形成了 白音诺尔高钾钙碱性准铝质二长花岗岩。

参考文献:

- [1] 赵一鸣, 张德全. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规 律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社, 1997, 1-318.
- [2] 张德全, 雷蕴芬, 罗太阳, 等. 内蒙古白音诺铅锌矿床地质 特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 1991, 10(3): 204-216.
- [3] 曾庆栋,刘建明,贾长顺,等.内蒙古赤峰市白音诺尔铅锌 矿沉积喷流成因:地质和硫同位素证据[J].吉林大学学报 (地球科学版),2007,37(4):659-667.
 - [4]曾庆栋,刘建明,万志民,等.内蒙 古赤峰市白音诺尔铅锌矿床构造 控制与找矿方向[J].大地构造与 成矿学,2007,31(4):430-434.
 - [5]牛树银,孙爱群,郭利军,等.大兴 安岭白音诺尔铅锌矿控矿构造研 究与找矿预测[J].大地构造与成 矿学,2008,32(1):72-80.
 - [6] 江思宏,聂凤军,白大明,等.内蒙 古白音诺尔铅锌矿床印支期成矿 的年代学证据[J].矿床地质, 2011,30(5):787-798.
 - [7] 易建,魏俊浩,姚春亮,等.内蒙古 白音诺尔铅锌矿区三叠纪侵入岩 体的发现及地质意义:锆石 U-Pb 年代学证据[J].地质科技情报, 2012,31(4):11-16.

[8] Shu Qihai, Lai Yong, Sun Yi, et al.

Ore genesis and hydrothermal evolution of the Baiyinnuo'er Zinc-Lead skarn deposit, Northeast China: evidence from isotopes (S, Pb) and fluid inclusions[J]. Economic Geology, 2013,108(4): 835–860.

- [9] 张德全,鲍修文.内蒙古白音诺中酸性火山-深成杂岩体的岩石学、地球化学与成因研究[J].地质论评,1990,36 (4):289-297.
- [10] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. J. Petrol., 2010, 51(1-2): 537-571.
- [11] Ludwig K R. Users manual for isoplot/Ex (rsv.3.0): A Geochronologica Toolkit for Microsoft excel: berkrley Geochronology Center[J]. Special Publication, 2003, No.1a, 1–55.
- [12] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1975, 58(1): 63–81.
- [13] Middlemost E A K. Magmas and Magmatic Rocks[M]. London: Longman, 1985, 1–266.
- [14] Maniar P D and Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989,

101(5): 635–643.

- [15] Sun S S and McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society London Special Publications, 1989, 42(1): 313–345.
- [16] Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: An example from the Padthaway Ridge, South Australia[J]. Lithos, 1992, 28(2): 151–179.
- [17] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. Geology, 1992, 20: 641–644.
- [18] Kelley,K.A., Plank,T., Ludden,J., et al. Composition of altere doceanic crust at ODP Sites 801 and 1149[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2003, 4(6): 381–393..
- [19] LaFlche M R, Camire G, Tenner G A. Geochemistry of post-Acadian, Carboniferous continental intraplate basalts from the Marimes basin, Magdalen Islands, Quebec, Canada [J]. Chemical Geology, 1998, 184(3–4): 115–136
- [20] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 1996, 19(4): 120–125.
- [21] 江思宏, 聂凤军, 白大明, 等. 内蒙古白音诺尔铅锌矿铅同 位素研究[J].地球科学与环境学报, 2011, 33(3): 230-236.

Zircon LA–ICP–MS U–Pb ages and geochemical characteristics of monzonitic granite from Baiyinnuoer Pb–Zn deposit, Chifeng city, Inner Mongolia

DUAN Ming, LI Zhi-dan^{*}, WANG Guo-ming, GAO Zhi-rui, ZHANG Feng, WEI Jia-lin, XIE Yu, YAN Guo-qiang

(Laboratory of Non-fossil Energy Minerals, Tianjin Center of China Geology Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The Baiyinnuoer ore deposit in Inner Mongolia is the largest Pb-Zn deposit in Da Hinggan Mountains metallogenic belt. It located in the northern part of Baiyinwula volcanic agencies, Pb-Zn orebodies mainly occur along the contact zone between the gradiorite and the carbonate rock. The authors dated the zircons of two samples from the granodiorites using the LA-MC-ICP-MS method. Two reliable weighted mean ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages are (254.8±1.6)Ma (MSWD=3.0, n=29)and (245.6±3.5)Ma(MSWD=5.9, n=13). Lead-zinc mineralization was spatio-temporal correlation with granodiorites, suggesting that Baiyinnuoer Lead-zinc Deposit was the product of late Hercynian to early Indosinian tectonic magmatic activity. The granodiorites have a SiO₂ range of 68.98 to 75.44wt%, with relatively high Al₂O₃ (15.52% ~ 15.26 wt%) and low MaO (0.1 ~ 1.25wt%) content, and characterized by extremely rich alkali (Na₂O= $4.04\% \sim 4.36\%$, K₂O= $3.98\% \sim 4.05$ wt%, Na₂O+K₂O= $7.73\% \sim 8.80$ wt%, $Na_2O/K_2O=0.96 \sim 1.33$). All samples fall into the high K calk-alkali series region and have metaluminous characteristics. The distribution of REE characterized by enrichment in LREE, and total amount of rare earth varied from 127.4 ~ 145.95 ppm. The REE are weak positive Ce anomalies (δ Ce=1.11 ~ 1.34) and significant negative Eu anomalies (δ Eu=0.08 ~ 0.58), trace elements characterized enrichment Rb, Th, K, LILE, loss Nb, Ta, P, Ti and other high field strength element (HFSE). In the Rb- (Y+Nb) and Rb- (Yb+Ta) tectonic environment discrimination diagrams, all samples fall into the tectonic setting of volcanic arc, suggesting that local remnant basin subduction in the late stage of the Late Paleozoic to Early Indosinian formed the high-K calc alkaline and metaluminous granodiorite in Baiyinnuoer.

Key words: Pb-Zn deposit; monzonitic granite; Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages; geochemical characteristics; Baiyinnuoer; Inner Mongolia