

西藏蒙亚啊铅锌矿区花岗斑岩年代学、地球化学及 Hf 同位素组成特征

王立强^{1,2)}, 林鑫³⁾, 李壮³⁾, 张志³⁾, 康浩然¹⁾, 李海峰²⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

2) 中国地质大学(北京), 北京, 100083; 3) 成都理工大学, 成都, 610059

内容提要:蒙亚啊铅锌矿床位于冈底斯铅锌成矿带东段, 矿区发育大量的花岗斑岩体。本文通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、主量元素、微量元素地球化学和锆石 Hf 同位素组成探讨了花岗斑岩体侵位时序、岩石成因、成岩物质源区及其与成矿之间的关系。锆石 U-Pb 年代学测试结果表明, 花岗斑岩体侵位时代为 13.18~13.57 Ma, 系中新世岩浆作用的产物。花岗斑岩富硅, 富碱, A/CNK 为 1.04~1.15; 稀土元素呈轻稀土富集的配分模式, 发育明显的 Eu 负异常; 微量元素中富集 Rb、Th、U、K、Pb 等大离子亲石元素, 而 Ba、Sr 及高场强元素 Nb、Ta、Ce、P、Zr、Ti 则有不同程度的亏损。主量、微量元素综合研究结果显示花岗斑岩为高分异的 S 型花岗岩。花岗斑岩 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -9.0~1.6 之间, 平均值为 -2.0; 两阶段模式年龄为 996~1673 Ma, 平均值为 1225 Ma。花岗斑岩亏损高场强元素及锆石 Hf 同位素组成特征指示岩浆物质源区为念青唐古拉群结晶基底。

关键词: 锆石 U-Pb 年代学; 地球化学; Hf 同位素; 花岗斑岩; 念青唐古拉群结晶基底; 蒙亚啊

蒙亚啊铅锌矿床位于冈底斯矽卡岩铅锌多金属成矿带东段, 大地构造位置隶属于冈底斯弧背断隆带。作为该成矿带上十分重要和典型的铅锌矿床, 已有学者对其成因类型、成岩物质来源、成岩流体来源及特征等方面进行了初步研究(程顺波等, 2008; 王立强等, 2010, 2011, 2012), 而对于蒙亚啊铅锌矿床广泛侵位、数量众多的花岗斑岩体的研究却相对薄弱。魏博等(2010)对矿区 Pb-13 号矿体附近出露的花岗斑岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试, 获得其成岩时代为 14.3 Ma, 并认为矿床成矿时代与之相近。张遵遵等(2012)通过研究认为矿区花岗斑岩具有多期侵位的特点。然而, 受限于矿床较低的勘查程度, 花岗斑岩的产出特征并不清楚, 这些广泛侵位的花岗斑岩体之间关系究竟如何、与成矿之间有何关系尚未知晓。因此, 本次研究基于详尽的野外地质观测, 对矿区钻孔中发育的花岗斑岩, 开展进一步的年代学、地球化学及 Hf 同位素研究, 精准限定其成岩时代、侵位时序、岩石类型、源区性质以及其与铅锌成矿的关系。

1 矿床地质概况

矿区出露的地层为上石炭统-下二叠统来姑组(C_2-P_1l)、中二叠统洛巴堆组(P_2l)、上二叠统列龙沟组(P_3l)及第四系。来姑组主要分布于矿区北部, 岩石组合为石英砂岩、碳质板岩、钙质板岩夹碳酸盐岩透镜体; 洛巴堆组分布于矿区中部, 地层上部为凝灰岩, 下部则以碳酸盐岩为主; 列龙沟组分布于矿区南部以杂色砂岩为主, 局部夹有砾岩、泥灰岩、灰岩。矿区构造以 NE-SW 向断裂构造及地层层间构造为主, 后者与成矿关系密切。岩浆岩以花岗斑岩为主, 见少量辉绿岩脉(图 1)。花岗斑岩数量众多、广泛发育, 钻孔编录资料表明, 其在 Pb-11、Pb-12、Pb-13 及 Pb-14 号矿体附近均有侵位, 主要以岩脉或岩枝形式产出。

2 样品及分析测试方法

2.1 样品采集及岩石学特征

用于本次研究的花岗斑岩样品均取自于不同矿体的钻孔中。用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学

注: 本文为中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(编号 K1416)、全国重要矿产区域成矿规律研究项目(编号 1212011121037)、中国地质调查局地质调查项目(编号 12120114068401)共同资助的成果。

收稿日期: 2014-10-14; 改回日期: 2014-11-02; 责任编辑: 周健。

作者简介: 王立强, 男, 1984 年生。助理研究员, 从事矿床学、矿床地球化学及区域成矿规律研究。Email: wlq060301@163.com。

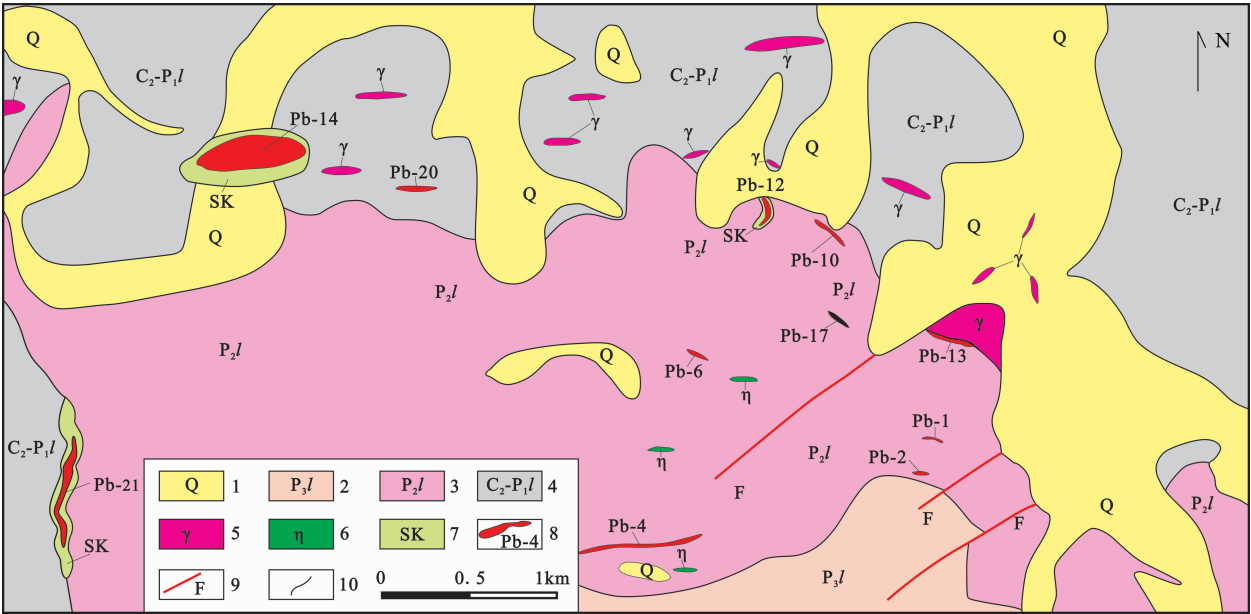


图 1 蒙亚啊铅锌矿床地质简图(据王立强等,2010 修改)

Fig. 1 Sketch geological map of the Mengya'a Pb-Zn deposit (modified after Wang et al. , 2010)

1—第四系;2—列龙沟组;3—洛巴堆组;4—来姑组;5—花岗斑岩;6—辉绿岩;7—矽卡岩;8—矿体及编号;9—断层;10—地质界线
1—Quaternary; 2—Lielonggou Formation; 3—Luobadui Formation; 4—Laigu Formation; 5—grainte porphyry;
6—diabase; 7—skarn; 8—orebody and its number; 9—fault; 10—geological boundary

和锆石 Hf 同位素研究的样品 ZK131-173 采自 Pb-11 号矿体 131 钻孔 173 m 处, ZK823-249 采自 Pb-12 号矿体 823 钻孔 249 m 处, ZK792-122 采自 Pb-13 号矿体 792 钻孔 122 m 处。用于主、微量元素分析测试的样品 ZK064-708.9 和 ZK064-719.4 分别采自 Pb-11 号矿体 064 钻孔 708.9 m 和 719.4 m 处, 样品 ZK131-151.4、ZK131-174.8 和 ZK823-239.8 分别采自 Pb-11 号矿体 131 钻孔 151.4 m、174.8 m 和 Pb-12 号矿体 823 钻孔 239.8 m 处。花岗斑岩呈浅灰白色,块状构造(图 2A),斑状结构,斑晶(25%)主要为石英、斜长石和黑云母,未见角闪石;基质(约 75%)主要由钾长石、斜长石、石英等组成,可见白云母;副矿物为磁铁矿、锆石等。石英斑晶呈不规则状或由于溶蚀作用呈次圆状(图 2B),个别石英斑晶发育溶蚀孔洞(图 2C)。斜长石斑晶呈较自形板状,可见卡式双晶,部分斜长石绢云母化、碳酸盐化发育(图 2D)。黑云母呈片状,发育弱的绿泥石化(图 2B、D)。

2.2 分析测试方法

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及 Hf 同位素测试分别于国土资源部天津地质矿产研究所和中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成。锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同

位素具体的分析测试过程及数据处理方法可参阅耿建珍等(2012)和侯可军等(2007)。全岩主量元素、稀土元素和微量元素测试在核工业北京地质研究院分析测试中心完成,主量元素采用 XRF 方法,稀土和微量元素采用 HR-ICP-MS 方法。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年代学

本次年代学研究对 3 件花岗斑岩中的锆石共计完成了 76 个点位的分析测试,测试数据列于表 1。三件样品中锆石均呈短柱状、长柱状或颗粒状,自形程度较好,多数发育较为明显的震荡环带结构(图 3a、b、c)。三件样品中锆石 Th/U 比值分别为 0.20~0.50、0.29~1.67 和 0.17~0.42,平均值分别为 0.29、0.73 和 0.29。一般而言,岩浆锆石的 Th/U 比值大于 0.1(周涛发等,2011)。因此,上述三件样品锆石均为典型岩浆成因锆石,其年龄可代表花岗斑岩成岩年龄。利用 Isoplot 3.0 对数据进行谐和曲线的投影及²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄的计算。计算得到的三件样品锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄分别为 13.56±0.09 Ma、13.18±0.05 Ma 和 13.57±0.08 Ma;在²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和图上,所有数据分析点均分布于谐和曲线上或其附近(图 4a、

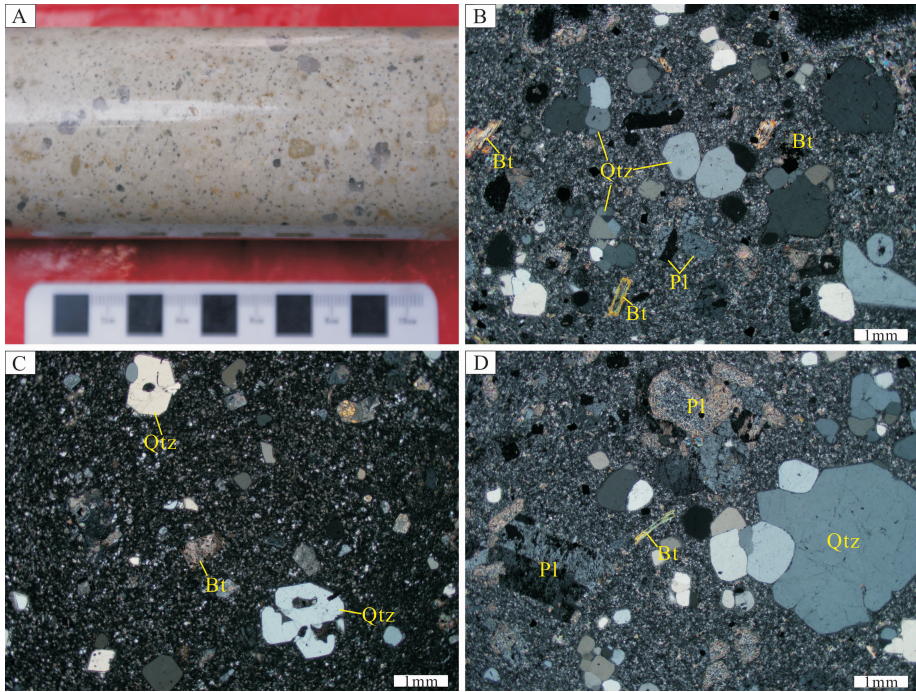


图 2 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩岩石学特征

Fig. 2 Petrologic characteristics of granite porphyry from the Mengya'a Pb-Zn deposits

A—花岗斑岩,石英及斜长石斑晶可见;B—花岗斑岩中石英斑晶溶蚀呈圆状及黑云母的绿泥石化;C—花岗斑岩石英斑晶的溶蚀孔洞;
D—花岗斑岩斜长石斑晶的卡式双晶、绢云母化、碳酸盐化及黑云母的绿泥石化;Bt—黑云母;Qtz—石英;Pl—斜长石
A—Granite porphyry with quartz and plagioclase phenocryst; B—dissolution of quartz phenocryst and biotite altered into chlorite partially;
C—quartz phenocryst with solution pore; D—plagioclase phenocryst with double crystal, sericitization, carbonatization,
and biotite altered into chlorite partialy; Bt—biotite; Qtz—quartz; Pl—plagioclase

b、c),测试数据质量较好,可信度较高。

3.2 主量及微量元素

本次研究对蒙亚啊矿区 5 件花岗斑岩进行了主量、微量和稀土元素的分析测试,测试数据列于表 2 中。花岗斑岩主量元素具有如下特征:①富硅,相对贫镁和钙。SiO₂ 含量变化于 72.90%~75.62% 之间,MgO 含量为 0.27%~0.56%,CaO 含量为 0.80%~1.51%。②碱含量高,并且相对富钾。K₂O 含量为 4.45%~7.51%,K₂O+Na₂O 变化范围为 7.03%~8.54%,K₂O/Na₂O 比值为 1.72~7.29。在 SiO₂-K₂O 图解中,样品点主要位于高钾钙碱性-钾玄岩系列范围内(图 5a)。③偏铝质或弱的过铝质。A/CNK 比值变化范围为 1.04~1.15,A/NK 比值为 1.32~1.39,在 A/NK-A/CNK 图解中样品点均位于偏铝质或弱过铝质范围内(图 5b)。④低 TiO₂ 和 P₂O₅。TiO₂ 含量为 0.10%~0.15%,P₂O₅ 含量为 0.01%~0.05%。

花岗斑岩稀土元素总量 ΣREE 为 102.76×10⁻⁶~130.58×10⁻⁶,变化不大,含量整体较低;岩

石整体富集轻稀土,轻、重稀土比值 LREE/HREE 为 21.56~24.35,(La/Yb)_N 值为 20.55~24.50;花岗斑岩均具有较强的 Eu 负异常,δEu 值变化范围为 0.29~0.44;在稀土元素配分模式图中,样品整体呈现出明显右倾的轻稀土富集模式(图 6a)。花岗斑岩微量元素分析结果(表 2)及其原始地幔标准化蛛网图(图 6b)显示花岗斑岩微量元素组成特征基本一致,表现为大离子亲石元素 Rb、Th、U、K、Pb 相对富集,而 Ba、Sr 则较为亏损;高场强元素 Nb、Ta、Ce、P、Zr、Ti 均有不同程度的亏损,而元素 Hf 则发育相对较弱的富集。高场强元素的集体亏损可能是由于地壳物质的混染造成的(任康绪等,2005;王世伟等,2011;陈芳等,2014)。

3.3 锆石 Hf 同位素特征

本次研究在锆石 U-Pb 年代学测试的基础上,对样品 ZK131-173 和 ZK823-249 中颗粒较大的锆石进行了 Hf 同位素分析测试,结果列于表 3。花岗斑岩锆石 24 个测试点 ¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 为 0.000522~0.003587,平均值为 0.001646;¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值除一

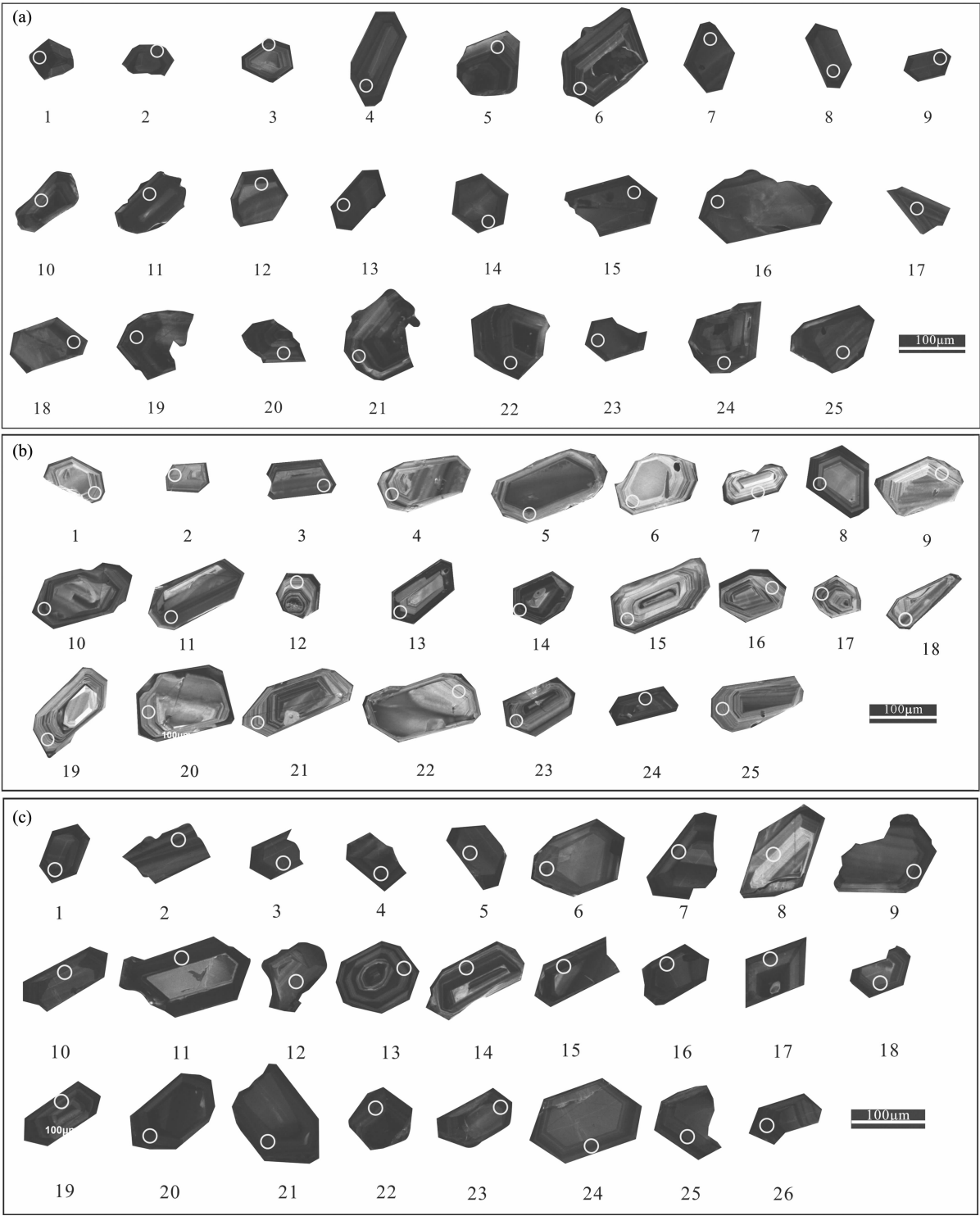


图 3 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩锆石阴极发光图像及测试点位

Fig. 3 CL images and test points of zircons from granite porphyry in the Mengya'a lead-zinc ore deposit
(a)—ZK131-173; (b)—ZK823-249; (c)—ZK792-122
(a)—For sample ZK131-173; (b)—for sample ZK823-249; (c)—for sample ZK792-122

个测点较低为 0.000059 之外,其余测点¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值为 0.282508~0.282809,平均值为 0.282704;计算得到的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -9.0~1.6 之间,平均值为 -2.0。Hf 同位素单阶段模式年龄 T_{DM1} 为 633~1101 Ma,平均值为 787 Ma;两阶段模式年龄 T_{DM2} 为 996~1673 Ma,平均值为 1225 Ma。

表 1 蒙亚啊铅锌矿床花岗岩斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of granite porphyry in the Mengya'a Pb-Zn deposit

样品号	含量 (×10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值						年龄 (Ma)					
	U	Th		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ
ZK131-173															
01	4144	12025	0.3446	0.0021	0.0001	0.0140	0.0003	0.0490	0.0010	13	0	14	0	966	19
02	2370	9011	0.2630	0.0021	0.0001	0.0127	0.0003	0.0444	0.0012	13	0	13	0	877	23
03	3091	7784	0.3971	0.0021	0.0001	0.0138	0.0004	0.0485	0.0013	13	0	14	0	957	26
04	2657	7309	0.3635	0.0021	0.0001	0.0156	0.0005	0.0545	0.0016	13	0	16	0	1073	31
05	2344	9289	0.2523	0.0021	0.0001	0.0139	0.0004	0.0482	0.0012	13	0	14	0	952	23
06	4259	8448	0.5041	0.0021	0.0001	0.0135	0.0003	0.0470	0.0011	13	0	14	0	928	22
07	2162	7672	0.2818	0.0021	0.0001	0.0144	0.0004	0.0505	0.0014	13	0	15	0	995	27
08	2366	8430	0.2807	0.0021	0.0001	0.0156	0.0004	0.0549	0.0012	13	0	16	0	1081	24
09	3212	7763	0.4138	0.0021	0.0003	0.0164	0.0003	0.0557	0.0011	14	0	17	0	1095	21
10	4812	11785	0.4083	0.0020	0.0001	0.0155	0.0003	0.0556	0.0010	13	0	16	0	1095	20
11	1492	4399	0.3391	0.0021	0.0001	0.0157	0.0006	0.0541	0.0021	14	0	16	1	1065	41
12	1157	4094	0.2826	0.0021	0.0001	0.0158	0.0006	0.0541	0.0020	14	0	16	1	1065	40
13	3823	11873	0.3220	0.0021	0.0001	0.0146	0.0003	0.0500	0.0010	14	0	15	0	987	19
14	1921	7935	0.2421	0.0021	0.0001	0.0146	0.0004	0.0509	0.0012	13	0	15	0	1004	24
15	2281	8585	0.2657	0.0021	0.0001	0.0161	0.0004	0.0558	0.0015	13	0	16	0	1098	29
16	1704	7052	0.2417	0.0021	0.0001	0.0137	0.0004	0.0484	0.0015	13	0	14	0	956	30
17	2306	10221	0.2256	0.0021	0.0001	0.0144	0.0003	0.0496	0.0011	14	0	14	0	978	22
18	1849	7870	0.2350	0.0021	0.0001	0.0153	0.0004	0.0521	0.0012	14	0	15	0	1026	23
19	2119	9303	0.2278	0.0021	0.0001	0.0158	0.0003	0.0539	0.0011	14	0	16	0	1061	22
20	2650	10429	0.2541	0.0021	0.0001	0.0167	0.0004	0.0562	0.0013	14	0	17	0	1106	25
21	2230	9281	0.2403	0.0021	0.0001	0.0140	0.0004	0.0478	0.0015	14	0	14	0	943	29
22	1843	8936	0.2063	0.0022	0.0001	0.0170	0.0005	0.0567	0.0015	14	0	17	0	1116	30
23	2053	8264	0.2484	0.0022	0.0001	0.0144	0.0004	0.0486	0.0012	14	0	15	0	959	24
24	1059	5411	0.1958	0.0021	0.0001	0.0165	0.0008	0.0560	0.0025	14	0	17	1	1101	49
25	1157	5899	0.1962	0.0022	0.0001	0.0172	0.0006	0.0580	0.0019	14	0	17	1	1140	37
ZK823-249															
01	1335	1018	1.3114	0.0020	0.0000	0.0306	0.0050	0.1089	0.0183	13	0	31	5	1782	307
02	563	888	0.6338	0.0020	0.0000	0.0201	0.0033	0.0712	0.0122	13	0	20	3	963	349
03	1057	2741	0.3857	0.0021	0.0000	0.0153	0.0014	0.0537	0.0050	13	0	15	1	358	209
04	1087	1480	0.7344	0.0021	0.0000	0.0173	0.0032	0.0613	0.0117	13	0	17	3	649	411
05	991	3008	0.3296	0.0021	0.0000	0.0130	0.0010	0.0460	0.0035	13	0	13	1	0	183
06	821	616	1.3336	0.0019	0.0001	0.0224	0.0088	0.0843	0.0400	12	0	23	9	1300	921
07	1050	1015	1.0342	0.0021	0.0000	0.0222	0.0041	0.0766	0.0143	14	0	22	4	1111	372
08	1567	1749	0.8962	0.0020	0.0000	0.0138	0.0020	0.0488	0.0073	13	0	14	2	137	350
09	605	758	0.7983	0.0021	0.0000	0.0235	0.0044	0.0822	0.0163	13	0	24	4	1251	388
10	1639	3895	0.4208	0.0020	0.0000	0.0137	0.0008	0.0488	0.0029	13	0	14	1	139	140
11	1848	3644	0.5072	0.0020	0.0000	0.0161	0.0010	0.0569	0.0032	13	0	16	1	487	126
12	2667	3403	0.7838	0.0021	0.0000	0.0139	0.0009	0.0484	0.0031	13	0	14	1	121	150
13	2307	5533	0.4169	0.0020	0.0000	0.0269	0.0008	0.0954	0.0025	13	0	27	1	1536	50
14	1564	5338	0.2930	0.0020	0.0000	0.0143	0.0007	0.0505	0.0023	13	0	14	1	217	105
15	1495	2276	0.6568	0.0020	0.0000	0.0190	0.0013	0.0674	0.0046	13	0	19	1	849	141
16	932	1888	0.4935	0.0020	0.0000	0.0138	0.0017	0.0491	0.0060	13	0	14	2	151	286
17	1524	2779	0.5485	0.0020	0.0000	0.0137	0.0010	0.0490	0.0036	13	0	14	1	149	172
18	960	1203	0.7982	0.0020	0.0000	0.0129	0.0046	0.0462	0.0170	13	0	13	5	10	886
19	2539	2808	0.9041	0.0020	0.0000	0.0128	0.0015	0.0477	0.0056	13	0	13	2	83	277
20	1067	1225	0.8711	0.0020	0.0000	0.0130	0.0030	0.0471	0.0118	13	0	13	3	54	599
21	1116	2154	0.5179	0.0020	0.0000	0.0156	0.0015	0.0564	0.0057	13	0	16	2	470	224
22	609	671	0.9077	0.0021	0.0001	0.0134	0.0151	0.0466	0.1064	13	0	14	15	27	5480
23	1958	4479	0.4371	0.0020	0.0000	0.0174	0.0007	0.0636	0.0025	13	0	17	1	728	84
24	8113	4863	1.6684	0.0021	0.0000	0.0166	0.0007	0.0583	0.0023	13	0	17	1	542	88
25	851	1816	0.4687	0.0021	0.0000	0.0134	0.0016	0.0469	0.0058	13	0	13	2	45	296

续表 1

样品号	含量 (×10 ⁻⁶)		Th/U	同位素比值						年龄 (Ma)					
	U	Th		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ
ZK792-122															
01	3959	13587	0.2914	0.0021	0.0000	0.0145	0.0003	0.0492	0.0010	14	0	15	0	970	19
02	1627	7809	0.2083	0.0021	0.0000	0.0142	0.0004	0.0489	0.0015	14	0	14	0	965	30
03	3373	13406	0.2516	0.0021	0.0000	0.0138	0.0003	0.0476	0.0010	14	0	14	0	940	20
04	4660	15653	0.2977	0.0021	0.0000	0.0154	0.0003	0.0527	0.0009	13	0	15	0	1038	18
05	922	4802	0.1921	0.0021	0.0000	0.0169	0.0007	0.0578	0.0022	14	0	17	1	1136	43
06	912	5306	0.1718	0.0021	0.0000	0.0145	0.0006	0.0493	0.0020	14	0	15	1	973	39
07	2239	10702	0.2092	0.0021	0.0000	0.0179	0.0005	0.0603	0.0016	14	0	18	0	1183	31
08	1076	2547	0.4224	0.0021	0.0000	0.0172	0.0010	0.0612	0.0037	14	0	17	1	1200	72
09	2228	10171	0.2191	0.0021	0.0000	0.0148	0.0003	0.0509	0.0010	14	0	15	0	1003	21
10	1179	3223	0.3659	0.0022	0.0000	0.0143	0.0009	0.0480	0.0028	14	0	14	1	948	56
11	2251	6845	0.3289	0.0021	0.0000	0.0158	0.0005	0.0547	0.0016	14	0	16	0	1076	31
12	1364	5971	0.2285	0.0021	0.0000	0.0138	0.0005	0.0471	0.0016	14	0	14	0	930	32
13	1961	7341	0.2671	0.0021	0.0000	0.0143	0.0004	0.0488	0.0012	14	0	14	0	962	23
14	2189	7113	0.3077	0.0021	0.0000	0.0144	0.0004	0.0494	0.0014	14	0	14	0	975	27
15	2541	6989	0.3636	0.0021	0.0000	0.0137	0.0004	0.0464	0.0014	14	0	14	0	917	27
16	1528	7990	0.1913	0.0021	0.0000	0.0141	0.0004	0.0480	0.0013	14	0	14	0	948	25
17	1961	7228	0.2713	0.0021	0.0000	0.0138	0.0004	0.0468	0.0014	14	0	14	0	924	28
18	2689	9171	0.2932	0.0021	0.0000	0.0152	0.0004	0.0522	0.0014	14	0	15	0	1028	28
19	2345	7317	0.3205	0.0020	0.0000	0.0161	0.0014	0.0589	0.0047	13	0	16	1	1156	92
20	3980	13226	0.3009	0.0021	0.0000	0.0138	0.0002	0.0475	0.0008	14	0	14	0	938	16
21	4023	11722	0.3432	0.0021	0.0000	0.0134	0.0003	0.0467	0.0009	13	0	14	0	922	18
22	6248	16751	0.3730	0.0021	0.0000	0.0186	0.0004	0.0642	0.0012	14	0	19	0	1258	23
23	1557	6074	0.2564	0.0021	0.0000	0.0135	0.0006	0.0470	0.0022	13	0	14	1	929	43
24	1331	5277	0.2523	0.0020	0.0000	0.0133	0.0006	0.0471	0.0021	13	0	13	1	931	42
25	3729	11919	0.3129	0.0021	0.0000	0.0148	0.0003	0.0519	0.0011	13	0	15	0	1022	23
26	5371	14352	0.3742	0.0021	0.0000	0.0135	0.0003	0.0475	0.0010	13	0	14	0	939	19

4 讨论

4.1 成岩时代及其意义

用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学研究的样品分别取自 Pb-11 (ZK131-173)、Pb-12 (ZK823-249) 和 Pb-13 (ZK792-122) 号矿体附近侵位的花岗斑岩, 三者的结晶年龄分别为 13.56 Ma、13.18 Ma 和 13.57 Ma, 花岗斑岩体侵位时代近乎一致, 指示蒙亚啊矿区广泛侵位的花岗斑岩应当为中新世同一期岩浆活动的产物, 而并非前人所认为的多期次岩浆侵位(张遵遵等, 2012)。

程顺波等(2010)对 Pb-13 号矿体地表出露的花岗斑岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 结果为 14.3 Ma, 并因此认为矿床成矿时代为中新世。笔者通过野外详尽的路线地质调查及钻孔编录发现, 与 Pb-13 号矿体附近花岗斑岩接触的地层确实发生了明显的矽卡岩化及铅锌矿化, 该矿体的形成与花岗斑岩的侵位的确存在密切的成因联系。而其他包括 Pb-11、Pb-12 和 Pb-14 号矿体在内的与花岗斑岩接触的地层中并未发生明显的矽卡岩化和矿化。另外, 笔者对取自 Pb-21 号矿体矽卡岩中的辉钼矿进

行了 Re-Os 同位素年龄测试, 4 件辉钼矿模式年龄为 60.44~65.77 Ma (未刊数据), 指示矿床存在早古新世成矿作用。上述地质事实及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测试结果表明, 蒙亚啊铅锌矿床可能存在多期次成矿事件。前已述及, Pb-13 号矿体成矿与其附近出露花岗斑岩体关系密切, 因此该矿体可能形成于中新世; 而其余铅锌矿化与花岗斑岩关系不大, 则可能形成于早古新世。

区域上, 位于冈底斯弧背断隆上的铅锌成矿带同样存在其他中新世岩浆侵位事件。蒙亚啊矿床东部的亚贵拉铅锌矿区成矿后期花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 17.43 Ma (高一鸣, 2010), 沙让斑岩型钼矿区成矿后英安斑岩及煌斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 18.5 Ma 和 18.3 Ma (Zhao et al., 2014)。冈底斯带于晚白垩世—早古新世进入了印度-亚洲大陆碰撞阶段(莫宣学, 2005; Zhu et al., 2011), 冈底斯带发生持续缩短增厚, 诱发了林子宗火山作用及冈底斯岩基的发育。中新世, 随着俯冲的印度大陆岩石圈的断离 (Miller et al., 1999; Mahéo et al., 2002), 在东西向伸展的背景下形成了南冈底斯众多中新世含矿斑岩体

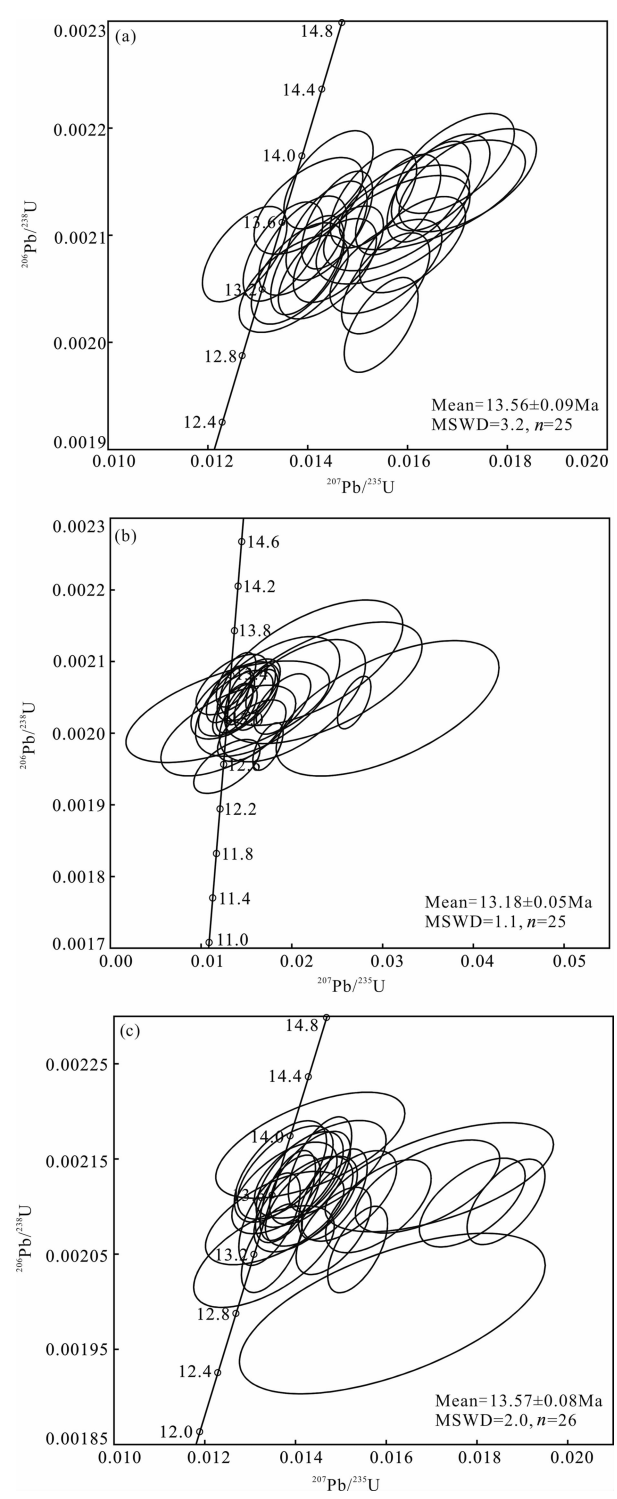


图 4 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagrams of granite porphyry from the Mengya'a Pb-Zn deposit

(曲晓明等,2002;Hou et al. , 2004)。冈底斯弧背断隆带上蒙亚啊与亚贵拉花岗斑岩体、沙让英安斑岩及煌斑岩侵位时代均为中新世,与南冈底斯广泛的中新世斑岩侵位时代相一致,表明冈底斯弧背断隆带上亦发育一定规模的中新世斑岩侵位事件。

表 2 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩主量元素(%)和微量元素($\times 10^{-6}$)分析结果

Table 2 Compositions of major elements (%) and rare elements ($\times 10^{-6}$) of the granite porphyry in the Mengya'a Pb-Zn deposit

样品编号	ZK064-708.9	ZK064-719.4	ZK131-151.4	ZK131-174.8	ZK823-239.8
SiO ₂	75.62	75.03	74.22	74.90	72.90
Al ₂ O ₃	12.25	12.27	12.92	12.42	12.79
Fe ₂ O ₃	0.31	0.56	0.24	0.53	0.47
FeO	0.93	0.69	1.35	1.11	1.00
MgO	0.27	0.30	0.29	0.34	0.56
CaO	1.08	1.36	0.80	1.20	1.51
Na ₂ O	2.04	2.19	1.03	2.58	2.14
K ₂ O	5.07	5.19	7.51	4.45	5.58
MnO	0.19	0.15	0.11	0.12	0.10
TiO ₂	0.11	0.10	0.12	0.11	0.15
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05
LOI	2.06	2.10	1.36	2.17	2.70
Total	99.94	99.96	99.97	99.95	99.95
K ₂ O+ Na ₂ O	7.11	7.38	8.54	7.03	7.72
K ₂ O/Na ₂ O	2.49	2.37	7.29	1.72	2.61
A/CNK	1.13	1.05	1.15	1.10	1.04
A/NK	1.39	1.33	1.32	1.37	1.34
DI	90.06	89.82	90.72	89.2	88.04
La	28.8	31.8	34.3	33.8	36.0
Ce	50.0	55.2	59.3	58.4	61.6
Pr	4.74	5.30	5.75	5.65	6.08
Nd	13.2	14.6	15.8	15.5	18.3
Sm	1.68	1.86	2.03	2.03	2.50
Eu	0.131	0.175	0.211	0.209	0.314
Gd	1.13	1.35	1.50	1.44	1.89
Tb	0.168	0.190	0.216	0.172	0.246
Dy	0.877	0.867	1.080	1.090	1.180
Ho	0.165	0.176	0.220	0.218	0.251
Er	0.628	0.700	0.828	0.861	0.791
Tm	0.125	0.109	0.156	0.153	0.143
Yb	0.962	0.931	1.110	1.180	1.120
Lu	0.149	0.151	0.185	0.190	0.166
Y	6.34	6.91	7.81	7.65	7.97
ΣREE	102.76	113.41	122.69	120.89	130.58
LREE/HREE	23.44	24.35	22.17	21.79	21.56
(La/Yb) _N	21.47	24.50	22.17	20.55	23.06
δEu	0.29	0.34	0.37	0.37	0.44
Rb	442	471	570	440	502
Ba	183	110	108	58.3	348
Th	45	47.8	50.7	53.2	40.6
U	21.7	16.3	9.21	12.8	26.8
Ta	2.31	2.30	2.37	4.71	2.13
Nb	27.44	31.20	29.11	66.71	25.49
Pb	50.5	22.8	76.5	57.6	70.2
Sr	68.3	83.5	85.1	53.6	118.0
Ga	1.13	1.35	1.5	1.44	1.89
Zr	80.55	88.37	137.63	135.44	96.03
Hf	2.09	2.23	5.65	8.68	5.34
Rb/Sr	6.47	5.64	6.70	8.21	4.25

注:Ta、Nb、Zr、Hf 数据引自张遵遵等(2012)。

表 3 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩锆石 Hf 同位素组成

Table 3 Zircon in-situ Hf isotopic data of granite porphyry from the Mengya'a Pb-Zn deposit

测点	¹⁷⁶ Y/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	2σ	ε _{Hf} (t)	T _{DM1} (Ma)	T _{DM2} (Ma)	f _{Lu/Hf}
ZK131-173								
04	0.081933	0.002515	0.282709	0.000021	−2.0	801	1222	−0.92
05	0.091750	0.002602	0.282672	0.000014	−3.3	858	1306	−0.92
06	0.075728	0.001841	0.282664	0.000014	−3.6	852	1324	−0.94
15	0.128274	0.003587	0.282594	0.000014	−6.0	1000	1481	−0.89
16	0.084023	0.002170	0.282658	0.000014	−3.8	868	1337	−0.93
21	0.096918	0.002528	0.282655	0.000014	−3.9	882	1345	−0.92
22	0.090386	0.002394	0.282684	0.000012	−2.9	836	1279	−0.93
25	0.097278	0.002688	0.282508	0.000014	−9.0	1101	1673	−0.92
ZK823-249								
02	0.065472	0.001473	0.282520	0.000022	−8.7	1049	1648	−0.96
03	0.024058	0.000522	0.282781	0.000018	0.6	659	1059	−0.98
04	0.136509	0.003253	0.282667	0.000016	−3.4	881	1316	−0.90
05	0.041930	0.001022	0.282793	0.000018	1.0	650	1031	−0.97
06	0.043294	0.001157	0.282744	0.000016	−0.7	722	1142	−0.97
07	0.038979	0.001081	0.282777	0.000018	0.5	675	1068	−0.97
08	0.049420	0.001367	0.282753	0.000016	−0.4	714	1122	−0.96
09	0.030711	0.000796	0.282741	0.000016	−0.8	721	1150	−0.98
10	0.044535	0.001146	0.282766	0.000016	0.1	691	1092	−0.97
11	0.034040	0.000966	0.282751	0.000015	−0.5	709	1126	−0.97
13	0.046365	0.001260	0.282723	0.000016	−1.5	754	1190	−0.96
14	0.035458	0.000943	0.282745	0.000018	−0.7	718	1141	−0.97
15	0.047281	0.001300	0.282809	0.000018	1.6	633	996	−0.96
17	0.049809	0.001454	0.000059	0.282778	0.5	681	1067	−0.96
20	0.030747	0.000769	0.282746	0.000017	−0.6	712	1137	−0.98
24	0.026025	0.000662	0.282741	0.000018	−0.8	718	1149	−0.98

注:相关参数的计算参阅吴福元等(2007a)。

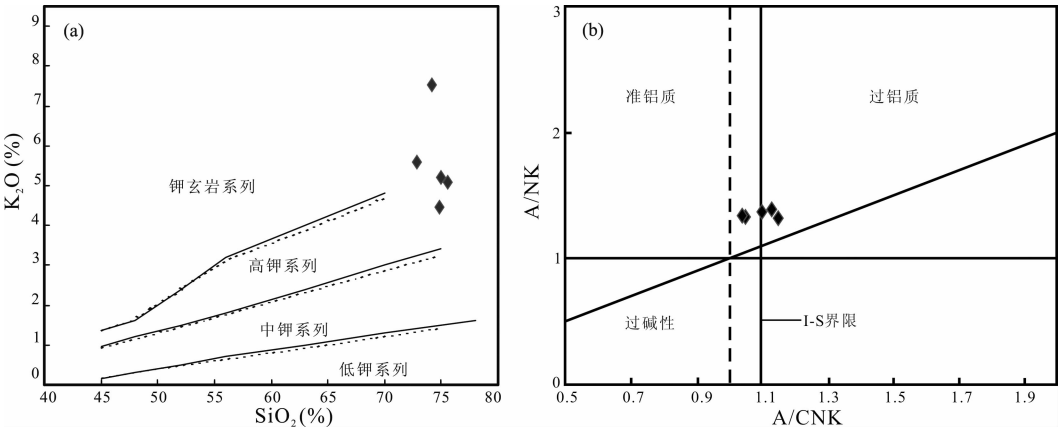


图 5 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩 SiO₂-K₂O (a)及 A/CNK-A/NK 图解 (b)

Fig. 5 Diagram of SiO₂-K₂O (a) and A/CNK-A/NK (b) of granite porphyry from the Mengya'a Pb-Zn deposit

4.2 岩石成因

含铝指数常被用来区分 I 和 S 型花岗岩,I 型花岗岩 A/CNK 通常小于 1.1,而 S 型花岗岩 A/CNK 则往往大于 1.1(Chappell and White, 1974, 1992)。蒙亚啊花岗斑岩 A/CNK 为 1.04~1.15,在 A/CNK-A/NK 图解中(图 5b),两个样品位于 I 型花岗岩范围内,而其余三个则位于 S 型花岗岩区域。然而,该方

法在判别经历了高分异的花岗岩的成因时可能失效(Wu et al. , 2003;吴福元等,2007b)。在 Bouseily and Sokkary (1975)提出的用于判别普通花岗岩和高分异型花岗岩的 Sr-Rb-Ba 图中(图 7),蒙亚啊花岗斑岩样品点全部落于高分异型的区间。另外,五件花岗斑岩分异指数 DI 为 88.04~90.72,同样指示其发生了较为强烈的结晶分异作用。因此,对蒙亚啊矿区花岗斑

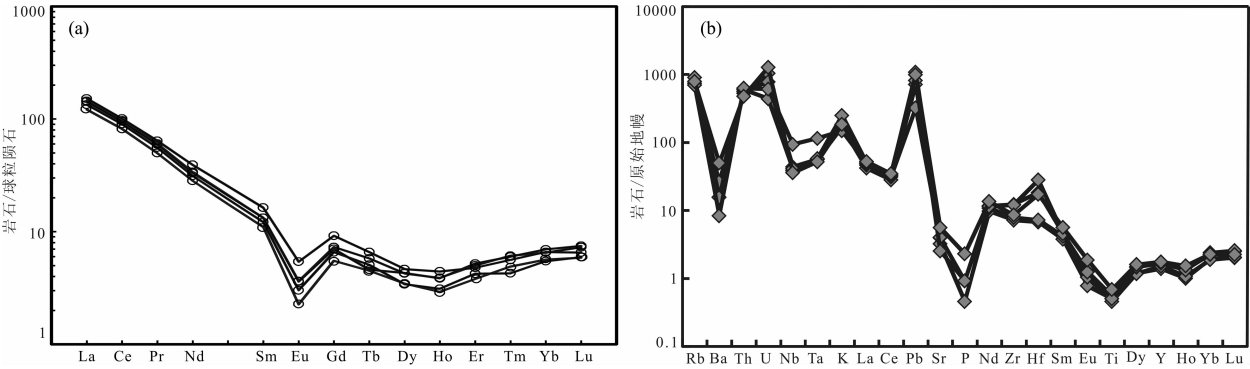


图 6 蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩稀土元素配分模式图(a)及微量元素配分模式图(b)
(球粒陨石及原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989)
Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive-mantle-normalized trace elements distribution patterns (b) of granite porphyry from the Mengya'a deposit
(The Chondrite and primitive mantle standardized values after Sun and McDonough, 1989)

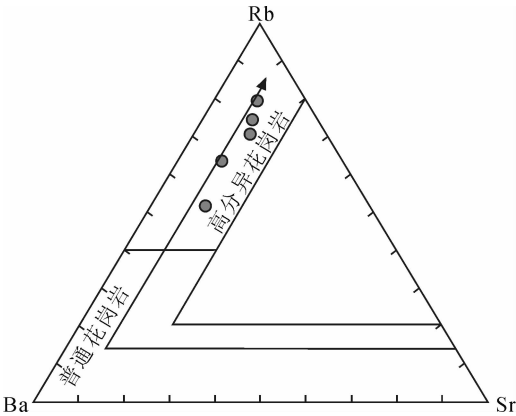


图 7 蒙亚啊花岗斑岩 Rb-Ba-Sr 三元图解
(底图据 Bouseily and Sokkary, 1975)

Fig. 7 Plots of the Mengya'a granite porphyry in the ternary Rb-Ba-Sr diagram (modified after Bouseily and Sokkary, 1975)

岩成因类型的判别需要借助其他地球化学参数来进行。近年来研究表明,Rb、Th、Ba、 P_2O_5 等元素可能是判别 I 和 S 型花岗岩较为可靠的标志(Chappell and White, 1992; Chappell, 1999)。微量元素 Rb- P_2O_5 、Rb-Th 之间相关性变化趋势图解(Chappell, 1999)(图 8a,b)显示,蒙亚啊矿区花岗斑岩明显具有 S 型花岗岩的特征。另外,在蒙亚啊花岗斑岩 K_2O - Na_2O 图解中(图 9),所有样品点均位于 S 型花岗岩范围之内;其 Rb/Sr 比值为 4.25~8.21,远大于 0.9,符合 S 型花岗岩特征(王德滋等,1993;董旭舟等,2014)。上述综合判别标准指示蒙亚啊花岗斑岩应当为 S 型花岗岩。

4.3 岩浆源区

蒙亚啊花岗斑岩微量元素中大离子亲石元素 Rb、Th、U、K、Pb 相对富集,高场强元素 Nb、Ta、

Ce、P、Zr、Ti 均有不同程度亏损,这一特征表明花岗斑岩形成过程中存在大量地壳物质的混染。赵振华等(2008)研究表明,CI 型球粒陨石 Nb/Ta 值为 17.3~17.6,大陆地壳的 Nb/Ta 值相对较低,为 10~14。蒙亚啊花岗斑岩 Nb/Ta 为 11.9~14.2,均值为 12.7,与大陆地壳 Nb/Ta 值较为一致,同样指示其地壳物质源区的特征。

蒙亚啊矿区花岗斑岩 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.282508~0.282809, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -9.0~1.6 之间,平均值为 -2.0,两阶段模式年龄为 996~1673 Ma 且多集中于 1100~1300 Ma 之间,平均值为 1225 Ma。蒙亚啊花岗斑岩 Hf 同位素这一组成特征与亚贵拉中新世花岗斑岩十分相似, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.282600~0.282830, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 -5.7~3.1 之间,两阶段模式年龄为 900~1461 Ma(高一鸣等,2011)。在锆石 U-Pb 年龄-Hf 同位素组成图解中(图 10),蒙亚啊花岗斑岩几乎所有样品点均位于西藏古老地壳范围内,指示蒙亚啊花岗斑岩岩浆来源为古老地壳物质的重熔。蒙亚啊铅锌矿床大地构造位置隶属于冈底斯弧背断隆带,冈底斯弧背断隆带上发育念青唐古拉群古老结晶基底,年代学研究结果显示其形成时代为 862~1802 Ma(Harris et al., 1988;胡道功等,2005)。蒙亚啊矿区花岗斑岩两阶段模式年龄与念青唐古拉群形成时代较为一致,花岗斑岩岩浆可能源于结晶基底物质的重熔。此外,蒙亚啊矿石硫化物铅同位素组成研究结果显示矿床成矿物质源区也是念青唐古拉结晶基底(程文斌等,2010),进一步印证了矿区花岗斑岩源自念青唐古拉群结晶基底重熔这一推论。

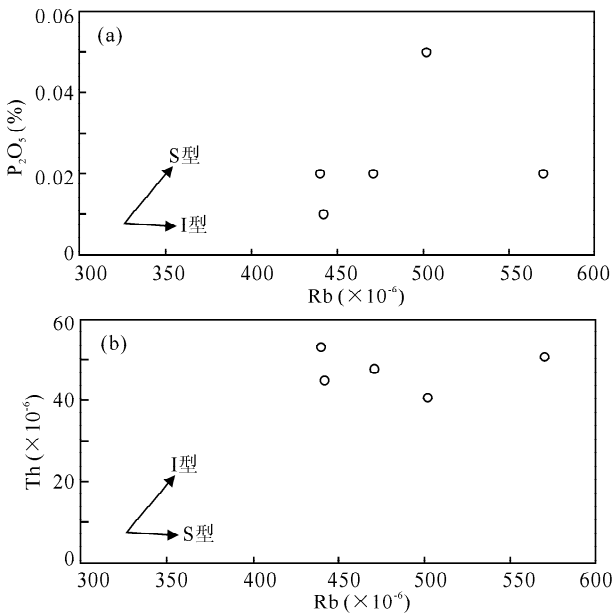


图 8 蒙亚啊矿床花岗斑岩 Rb-P₂O₅ 及 Rb-Th 图解
Fig. 8 Rb-P₂O₅ and Rb-Th diagrams for discrimination of genetic types for granite porphyry from the Mengya'a deposit

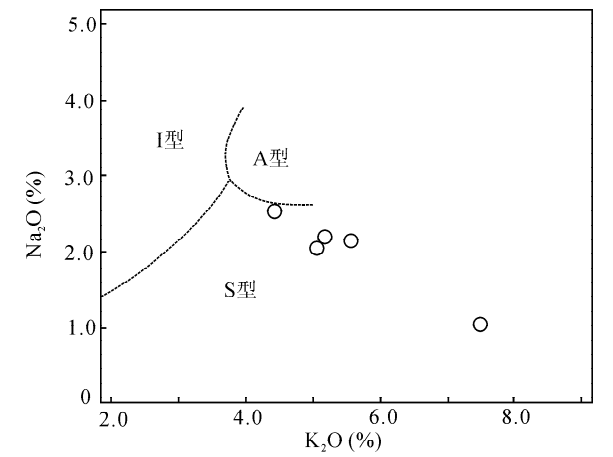


图 9 蒙亚啊矿床花岗斑岩 K₂O-Na₂O 图解
Fig. 9 K₂O-Na₂O diagram for discrimination of genetic types for granite porphyry from the Mengya'a deposit

5 结论

(1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学测试结果表明,蒙亚啊铅锌矿床花岗斑岩形成时代为 13.18~13.57 Ma,花岗斑岩侵位时代基本一致,为中新世同一期次岩浆侵位事件。

(2) 矿化与蚀变地质特征表明,中新世花岗斑岩体的侵位形成了矿床 Pb-13 号矿体,花岗斑岩成岩时代可代表 Pb-13 号矿体成矿时代;但花岗斑岩与其他矿体成矿关系不大,不能完全代表蒙亚啊矿床

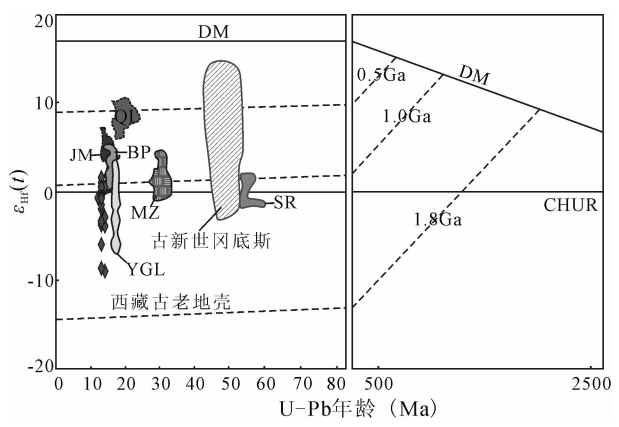


图 10 蒙亚啊花岗斑岩锆石 U-Pb 年龄-Hf 同位素组成图解(底图据侯增谦等,2012 修改)
Fig. 10 Hf isotopic compositions versus U-Pb ages of zircons of granite porphyry from the Mengya'a deposit (modified after Hou et al., 2012)

QL—驱龙;JM—甲玛;MZ—明则;SR—沙让;YGL—亚贵拉;BP—邦铺;DM—亏损地幔;CHUR—球粒陨石均一库;驱龙数据引自杨志明,2008;甲玛数据引自应立娟,未刊资料;明则数据引自 Zheng et al., 2012;沙让-亚贵拉数据引自高一鸣等,2011;邦铺数据引自罗茂澄等,2011;

QL—Qulong; JM—Jiama; MZ—Mingze; SR—Sharang; YGL—Yaguila; BP—Bangpu; DM—depleted mantle; CHUR—chondritic uniform reservoir; Data of Qulong, Jiama, Mingze, Sharang-Yaguila and Bangpu are from Yang Zhiming, 2008; Ying Lijuan unpublished; Zheng Yuanchan et al., 2012; Gao Yiming et al., 2011 and Luo Maocheng et al., 2011, respectively

成矿时代;笔者结合未刊的辉钼矿年代学资料,认为矿床存在多期次成矿作用。

(3) 花岗斑岩主量元素、微量元素地球化学组成特征表明其为高分异的 S 型花岗岩;微量元素及锆石 Hf 同位素组成特征指示花岗斑岩岩浆物质源区为念青唐古拉群结晶基底。

(4) 蒙亚啊矿区花岗斑岩成岩时代的厘定,进一步表明冈底斯弧背断隆带上亦存在中新世印度-亚洲大陆碰撞过程中东西向伸展环境下形成的岩浆侵位事件。

致谢:值此陈毓川院士八十华诞之际,谨以此拙文献给尊敬的陈先生,祝福先生身体康健,工作顺利。审稿专家提出了建设性意见,西藏地勘局地质二队张华平总工在野外工作中提供了大力支持,天津地质矿产研究所耿建珍博士、中国地质科学院矿产资源研究所侯可军博士在实验过程中给予了帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

陈芳,王登红,杜建国,许卫,胡海风,王克友,余有林,汤金来. 2014.

- 安徽宁国刘村二长花岗岩地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质学报, 88(5): 869~882.
- 程顺波, 庞迎春, 曹亮. 2008. 西藏蒙亚啊矽卡岩铅锌矿床的成因探讨. 华南地质与矿产, 3: 50~56.
- 程文斌, 顾雪祥, 唐菊兴, 王立强, 吕鹏瑞, 钟康惠, 刘晓吉, 高一鸣. 2010. 西藏冈底斯一念青唐古拉成矿带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征——对成矿元素组合分带性的指示. 岩石学报, 26(11): 3350~3362.
- 董旭舟, 周振华, 王润和, 李进文, 何姝. 2014. 内蒙古敖包吐铅锌矿床花岗岩类年代学及其地球化学特征. 矿床地质, 33(2): 323~338.
- 高一鸣. 2010. 西藏工布江达县亚贵拉一沙让多金属矿床地质特征及区域成矿研究. 北京: 中国地质科学院博士学位论文.
- 高一鸣, 陈毓川, 王成辉, 侯可军. 2011. 亚贵拉一沙让一洞中拉矿集区中生代岩浆岩 Hf 同位素特征与岩浆源区示踪. 矿床地质, 30(2): 279~291.
- 耿建珍, 张健, 李怀坤, 李惠民, 张永清, 郝爽. 2012. 10 μ m 尺度锆石 U-Pb 年龄的 LA-MC-ICP-MS 测年. 地球学报, 33(6): 877~884.
- 侯可军, 李延河, 邹天人, 曲晓明, 石玉若, 谢桂青. 2007. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用. 岩石学报, 23(10): 2595~2604.
- 侯增谦, 郑远川, 杨志明, 杨竹森. 2012. 大陆碰撞成矿作用: I. 冈底斯新生代斑岩成矿系统. 矿床地质, 31(4): 647~670.
- 胡道功, 吴珍汉, 江万, 石玉若, 叶培盛, 刘琦胜. 2005. 西藏念青唐古拉岩群 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄和 Nd 同位素研究. 中国科学: 地球科学, 35(1): 29~37.
- 罗茂澄, 毛景文, 王立强, 冷秋锋, 陈伟. 2012. 西藏邦铺斑岩钼铜矿床岩浆—热液流体演化: 流体包裹体研究. 矿床地质, 33(4): 471~484.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张风琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息. 高校地质学报, 11(3): 281~290.
- 曲晓明, 侯增谦, 李佑国. 2002. S、Pb 同位素对冈底斯斑岩铜矿带成矿物质来源和造山带物质循环的指示. 地质通报, 21(11): 768~775.
- 任康绪, 阎国翰, 牟保磊, 蔡剑辉, 童英, 李凤荣, 赵凤三, 古丽冰, 杨斌, 储蓄银. 2005. 阿拉善断块富碱侵入岩岩石地球化学和 Nd、Sr、Pb 同位素特征及其意义. 地学前缘, 12(2): 292~302.
- 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 陈繁荣. 1993. 桐庐 I 型和相山 S 型两类碎斑熔岩对比. 岩石学报, 9(1): 44~54.
- 王立强, 顾雪祥, 程文斌, 唐菊兴, 钟康惠, 刘晓吉. 2010. 西藏蒙亚啊铅锌矿床 S、Pb 同位素组成及对成矿物质来源的示踪. 现代地质, 24(1): 52~58.
- 王立强, 顾雪祥, 唐菊兴, 王焕, 程文斌, 景亮兵, 向浩予. 2011. 西藏蒙亚啊铅锌矿床成矿流体来源及特征. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(1): 67~75.
- 王立强, 程文斌, 罗茂澄, 向浩予. 2012. 西藏蒙亚啊铅锌矿床金属硫化物、石英稀土元素组成特征及其成因研究. 中国地质, 39(3): 740~749.
- 王世伟, 周涛发, 袁峰, 范裕, 吕玉琢. 2011. 铜陵舒家店岩体的年代学和地球化学特征研究. 地质学报, 85(5): 849~861.
- 魏博, 程顺波, 庞迎春. 2010. 西藏蒙亚啊铅锌矿床成矿年龄及其地质意义. 华南地质与矿产, 1: 14~19.
- 吴福元, 李献华, 郑永飞, 高山. 2007a. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用. 岩石学报, 23(2): 185~204.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞. 2007b. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报, 23(6): 1217~1238.
- 杨志明. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床—岩浆作用与矿床成因. 北京: 中国地质科学院博士学位论文.
- 赵振华, 熊小林, 王强, 乔玉楼. 2008. 铌与钽的某些地球化学问题. 地球化学, 37(4): 304~320.
- 张遵遵, 李泽琴, 程顺波, 王奖臻, 叶永钦, 肖海. 2012. 西藏蒙亚啊矽卡岩型铅锌矿床花岗岩地球化学特征. 有色金属(矿山部分), 64(5): 49~54.
- 周涛发, 范裕, 袁峰, 张乐骏, 钱兵, 马良, 杨西飞, David R C. 2011. 宁芜(南京—芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义. 中国科学(地球科学), 41(7): 960~971.
- Bouseily A M, Sokkary A A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. Chemical Geology, 16(3): 207~219.
- Chappell B W, White A J R. 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8: 173~174.
- Chappell B W, White A J R. 1992. I-and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh(Earth Sciences), 83(2): 1~26.
- Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I-and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. Lithos, 46: 535~551.
- Harris N B W, Xu R H, Lewis C L, Hawkesworth C J, Zhang Y Q. 1988. Isotope geochemistry of the 1985 Tibet geotraverse, Lhasa to Golmud. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 327: 263~285.
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y, Mo X X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 220: 139~155.
- Mahéo G, Guillot S, Blichert-Toft J, Rolland Y, Pecher A. 2002. A slab breakoff model for the Neogene thermal evolution of South Karakorum and South Tibet. Earth Science Letter, 195: 45~58.
- Miller C, Schuater R, Klotzli U, Frank N, Purtacher F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. Journal of Petrology, 40: 1399~1424.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. London: Geological Soc. Spec. Pub., 42(1): 313~345.
- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, Lo C H, Yui T F, Lin Q, Ge W C, Sun D Y. 2003. Highly fractionated I-type granites in NE China (I): geochronology and petrogenesis. Lithos, 66(3~4): 241~273.
- Zhao J X, Qin K Z, Li G M, Li J X, Xiao B, Chen L, Yang Y H, Li C, Liu Y S. 2014. Collision-related genesis of the Sharang

porphyry molybdenum deposit, Tibet; evidence from zircon U-Pb ages, Re-Os ages and Lu-Hf isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 56: 312~326.

Zheng Y C, Hou Z Q, Li W, Liang W, Huang K X, Li QY, Sun Q Z, Fu Q, Zhang S, Pan F C. 2012. Petrogenesis and geological implications of the Oligocene Chongmuda-Mingze adakitic intrusions and its mafic enclaves, southern Tibet. *The Journal of Geology*, 120 (6): 647~669.

Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Mo X D, Chung S L, Hou Z Q, Wang L Q, Wu F Y. 2011. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth. *Earth and Planetary Science Letters*, 301: 241~255.

Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopic Compositions of the Granite Porphyry in the Mengya'a Pb-Zn Deposit, Tibet

WANG Liqiang^{1,2)}, LIN Xin³⁾, LI Zhuang³⁾, ZHANG Zhi³⁾, KANG Haoran¹⁾, LI Haifeng²⁾

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*; 2) *China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083*; 3) *Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059*

Abstract

The Mengya'a Pb-Zn deposit with lots of granite porphyries developing is located in the eastern section of the Gangdese Pb-Zn metallogenic belt. On the basis of study on LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, geochemistry, and Hf isotopes of the granite porphyry, the emplacement sequence, petrogenesis, sources of diagenetic materials, and the relation between the Pb-Zn mineralization and granite porphyry have been discussed. Zircon U-Pb geochronology results show that the granite porphyries were formed during 13.18 to 13.57 Ma, and they were formed during the same stage of magmatism of the Miocene. Major elements of the granite porphyries have characteristics of enrichment in silicon and alkali and the parameter of A/CNK ranges from 1.04 to 1.15. Rare earth elements have the pattern of light REE enrichment with strong negative Eu abnormality. Rare elements compositions show that granite porphyries are rich in LILE such as Rb, Th, U, K and Pb and poor in Ba, Sr and the HFSE such as Nb, Ta, Ce, P, Zr and Ti. Geochemistry results show granite porphyries in the Mengya'a deposit are highly fractionated S type granite. $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values and two-stage model ages of zircons are $-9.0 \sim -1.6$ and $996 \sim 1673$ Ma respectively, with the average values of -2.0 and 1225 Ma, which indicates that the magma sources of the granite porphyries in the Mengya'a deposit were from the remelting of the Nyainqentanglha Group basement.

Key words: geochronology; geochemistry; Hf isotopes; granite porphyry; Nyainqentanglha Group basement; Mengya'a