第 26 卷第 3 期 中国有色金属学报 2016 年 3 月
Volume 26 Number 3 The Chinese Journal of Nonferrous Metals March 2016
文章编号：1004-0609(2016)-03-0636-12

辽东榛子沟铅锌矿煌斑岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其地质意义

张 朋[1,2]，陈 冬[3]，赵 岩[1]，寇林林[1]，杨宏智[1]，王希今[1]，沙德铭[1]

(1. 沈阳地质矿产研究所 中国地质调查局沈阳地质调查中心，沈阳 110034；
2. 吉林大学 地球科学学院，长春 130061；
3. 江苏省地质调查研究院，南京 210018)

摘 要：阐述辽东榛子沟铅锌矿区煌斑岩岩相学、锆石 U-Pb 年代学、元素地球化学及 Sr-Nd 同位素地球化学特征。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明煌斑岩侵位时代为(227.7±1.3) Ma，属于晚三叠世。岩石地球化学分析表明煌斑岩具有高钾(K_2O/Na_2O 为 2.34~3.64)、富碱(K_2O+Na_2O 为 4.12~4.67)，富集大离子亲石元素(Rb、Ba)和轻稀土元素，亏损重稀土元素和高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf)特征。同位素显示高($^{87}Sr/^{86}Sr)_i$(0.71224~0.71248)低 $\varepsilon_{Nd}(t)$(−1.53~−0.43)特点。岩石地球化学和同位素特征表明，煌斑岩可能为 EMⅡ型富集地幔部分熔融的产物，推测源区可能与板块俯冲带组分脱水产生的富集 LILE 而亏损 HFSE 的流体交代富集地幔有关，岩浆上升过程中未发生明显的地壳混染作用。结合区域构造演化，认为扬子克拉通向华北克拉通深俯冲过程中板片断离可能是该区煌斑岩形成的地球动力学背景。

关键词：煌斑岩；年代学；地球化学；榛子沟铅锌矿
中图分类号：P581.1 **文献标志码**：A

辽东青城子地区是我国北方重要的铅、锌矿化集中区。该区分布着榛子沟、甸南、喜鹊沟、本山和青城子等多所中、小型矿床(见图 1)[1]。榛子沟铅锌矿作为该地区典型矿床之一，备受国内学者关注，在矿床地质特征、成矿时代、元素地球化学特征、成矿流体性质、成矿环境和矿床成因等方面取得了众多认识。主要有榛子沟铅锌矿产出类型为层状−似层状及脉状铅锌矿、层状−似层状铅锌矿为古生代沉积成因，脉状铅锌矿为后期热液叠加成因[2]；榛子沟矿石铅可能是北瓦沟−猫岭与辽河群片岩和板岩铅混合的结果[3]；榛子沟铅锌矿金属矿物闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄(221.00±12.00) Ma，榛子沟铅锌矿形成于晚三叠世[4]；矿床成矿流体为岩浆水和大气降水的叠加热液，层状矿石为沉积形成，脉状矿石为层状矿石受后期叠加改造形成，层状和脉状铅锌矿成矿物质均来自上升的深部热流体与一定量的海水在浅部的混合热液等[5−6]。尽管前人对榛子沟铅锌矿进行深入研究，然而对矿区中广泛分布与成矿密切的煌斑岩研究却较为薄弱，对岩石学、元素地球化学、成岩时代及同位素地球化学等其它方面的研究还未曾开展过。

煌斑岩是成分和成因复杂的一组中至暗色的斑状脉岩，通常以岩脉、岩墙的形式分布不同时期不同类型的大地构造环境中。目前，人们对煌斑岩的成因认识主要有 3 种，即交代富集地幔的部分熔融；基性岩浆陆壳混溶；幔源钾镁煌斑岩熔体与壳源深部结晶分异[7−8]。因此，对煌斑岩进行研究，具有探讨地幔富集、同化混染和岩浆混合岩石学意义。此外，在一些大型、超大型铅锌金银矿集区中，煌斑岩还呈现与其密切的时空关系[9−10]。同样对煌斑岩的研究还显示巨大的矿床学研究价值。毫无疑义，煌斑岩成为能够反映深部构造−岩浆作用和源区地球化学性质及成矿作用的一种研究介质。本文作者拟对辽东榛子沟铅锌矿中与成矿密切的煌斑岩开展系统的岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Sr-Nd 同位素研究，对该区煌斑岩的起源，源区性质及其所蕴含的岩石成因意义进行探讨，为该区进一步矿产勘查及成岩成矿理论研究提供基础地质

基金项目：国家自然科学基金青年基金资助项目(41502093)；国土资源部公益性行业基金资助项目(201311018-03)；中国地质调查局地质矿产调查评价专项(12120113058700)
收稿日期：2015-03-10；**修订日期**：2015-08-30
通信作者：张 朋，工程师，博士研究生；电话：13674187996；E-mail：syzhangpengcgs@163.com

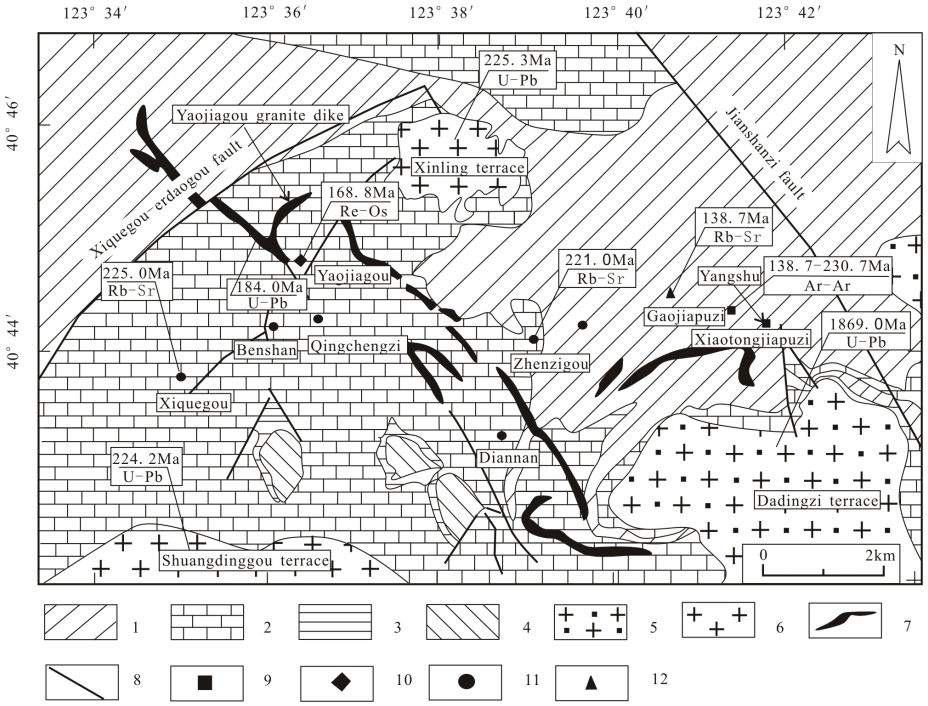

图 1　青城子矿集区地质简图[1]：1—辽河群盖县组片岩；2—辽河群大石桥组大理岩；3—辽河群浪子山组火山碎屑岩；4—辽河群于家堡子组火山碎屑岩；5—元古代花岗岩；6—三叠纪花岗岩；7—岩墙；8—断层；9—金矿床；10—钼矿床；11—铅锌矿床；12—银矿床

Fig. 1　Sketch geological map of Qingchengzi orefield[1]: 1—Gaixian Formation; 2—Dashiqiao Formation; 3—Langzishan Formation; 4—Yujiapuzi Formation; 5—Paleoproterozoic granite; 6—Triassic granite; 7—Dike; 8—Fault; 9—Gold deposit; 10—molybdenum deposit; 11—Lead and zinc deposit; 12—Silver deposit

资料及信息。

1　地质背景

青城子矿集区位于辽东古元古裂谷带轴部的一个断陷盆地，辽东裂谷区是在太古代克拉通基底上形成的，经历了地壳的拉张裂陷−快速沉降−慢速沉降−回返挤压−收缩上隆 5 个主要演化阶段，裂谷演化早期沉积了巨厚的辽河群，辽河群下部为于家堡子组和浪子山组火山岩−碎屑岩建造，中部为大石桥组碳酸盐建造，上部为盖县组碎屑岩−火山碎屑岩建造。辽河群在距今 18 亿年经历了区域热动力变质作用发生角闪岩相−绿片岩相的变质，形成斜长角闪岩、变粒岩、片岩和大理岩等。

裂谷区横向上划分为北缘斜坡、轴部凹陷和南缘浅台 3 个构造岩相带。轴部凹陷带的南北两侧分别以盖县−岫岩−永甸深断裂带、大石桥−隆昌−草河口−桓仁深断裂带与南缘浅台、北缘斜坡相连。裂谷在经历了挤压碰撞造山和后造山作用后，形成了塑流变形−塑形变形−塑−脆变形产生的变形构造带和由塑性变形−塑−脆性变形−脆性变形产生的线性构造带。

区内侵入岩分布较为广泛(见图 1)，主要分布有古元古代和中生代侵入岩，其中古元古代侵入岩以大顶子岩体为代表，主要岩性为钠质黑云母斜长花岗岩，侵入时代为 1869 Ma(锆石 SHRIMP U-Pb 法，杨凤超待发表)。

中生代区域构造−岩浆活动强烈，区内北侧有新岭岩体和姚家沟岩体产出，岩性分别为黑云母花岗岩和花岗斑岩，新岭岩体侵入时代为 224.2 Ma，姚家沟斑状花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(183.5±1.6) Ma[4]，南侧有双顶沟岩体，主要岩性为黑云母二长花岗岩，锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄为(224.2±1.2) Ma[11]。同时区内分布大量的闪长玢岩、煌斑岩、石英斑岩等脉岩。

2　矿区地质特征

青城子矿区出露的地层有鞍山群及辽河群浪子山

组、大石桥组和盖县组。辽河群为一套陆间裂谷沉积建造，总体走向近东西，呈整合接触，浪子山组形成于裂谷初始扩张期，是青城子层状、似层状及透镜状铅锌矿体的主要赋矿层位，大石桥组形成于裂谷扩张的海进沉积环境，是榛子沟铅锌矿层状矿体的赋矿层位。盖县组形成于裂谷收缩阶段，是矿集区金银的主要赋矿层位。

青城子主体构造格局为中深层次的片麻岩穹窿或变质核杂岩。褶皱构造构成了青城子矿集区的主要构造格架，褶皱构造以榛子沟倾没背斜为主，轴向 290°左右，轴长 3 km，倾伏角 25°。榛子沟铅锌矿体分布在该背斜北翼。整个矿区断裂构造发育，以脆性断裂构造为主，对该区铅锌成矿起着重要的作用，它们即构成了火成岩脉的侵位构造薄弱带，又构成了含矿热液运移的通道。

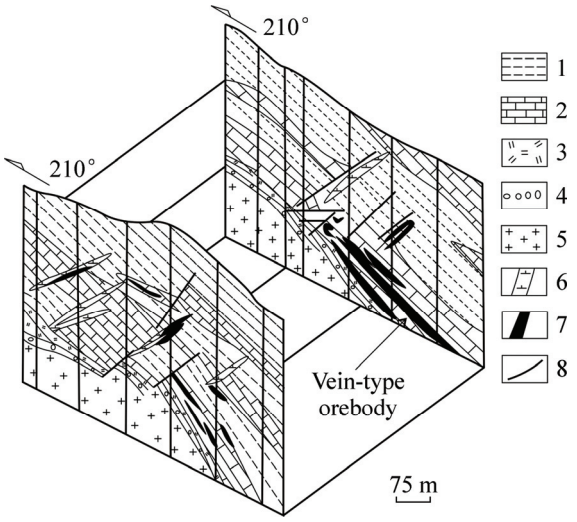

图 2 青城子榛子沟铅锌矿剖面图[5]：1—盖县组云母片岩；2—大石桥组大理岩；3—浪子山组斜长角闪岩；4—钓鱼台组石英岩；5—元古代花岗质侵入杂岩；6—煌斑岩；7—铅锌矿体；8—断层

Fig. 2 Geological section through Zhenzigou ore body in Qingchengzi[5]: 1—Mica schist of Gaixian formation; 2—Marble of Dashiqiao formation; 3—Amphibolite of Langzishan formation; 4—Quartzite of Diaoyutai; 5—Proterozoic granitic intrusive complex; 6—Lamprophyre; 7—Lead and zinc deposit bodies; 8—Fault

区内岩浆活动及其强烈，多期多位的侵入岩体构成了岩浆岩田，裂谷扩张初期，发生了大规模幔源岩浆侵位，之后多次发生基性–酸性海底火山喷发和热泉喷流。岩浆在构造薄弱带侵位冷凝构成了煌斑岩脉、闪长岩脉及伟晶岩脉等，煌斑岩与脉状铅锌矿体平行展布，偶见煌斑岩脉穿插脉状铅锌矿体，二者呈不整合侵入围岩辽河群大石桥组透闪石大理岩，如榛子沟铅锌矿 2 号脉、289 号矿脉(见图 2)[5]。

3 岩石特征

煌斑岩呈脉状分布在榛子沟铅锌矿区，呈 NNE 向分布，侵入盖县组云母片岩和大石桥大理岩中，煌斑岩为灰至深灰色，煌斑结构，致密块状构造。岩石主要矿物为斜长石(50%±)、黑云母(25%±)、透辉石(20%±)，其次有少量的石英(5%±)，其中以石英和斜长石构成斑晶，副矿物主要有磷灰石、磁铁矿、锆石等(见图 3)。斜长石呈板状、长板状晶形，最大粒径为 1.25 mm，多数为 0.70~1.00 mm；黑云母均为自形程度相对较的片状晶形，为自形至半自形晶，最大长径为 0.50 mm，多数为 0.35 mm；透辉石多呈自形柱状、短柱状晶形分布于基质中，只有极少颗粒分布于斑晶中，基质中的透辉石柱体长径最大为 0.30 mm，横切面直径为 0.15 mm，多数为柱长为 0.05 mm；石英主要呈他形较大颗粒分布于岩石斑晶中，少量分布于其

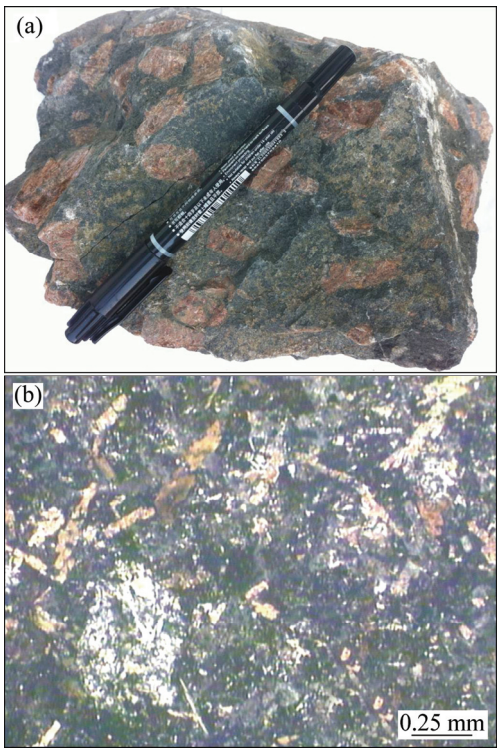

图 3 榛子沟煌斑岩手标本和镜下显微照片

Fig. 3 Hand specimen and microscope image of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit: (a) Hand specimen photograph of lamprophyre; (b) Microscopic photos of lamprophyre

质中，最大粒径为 3.25 mm，样品新鲜，没有明显矿化蚀变现象。

4　分析方法

本研究的样品采用常规方法进行粉碎，经过淘洗、磁选和重液分离，分析方法见参考文献[12]在双目镜下选出晶型和透明度好的单颗粒锆石，进行锆石制靶和阴极发光图像分析，在天津地质矿产研究所进行锆石 LA-MC-ICP-MS 定年，详细实验流程见参考文献[13]。

岩石主、微量元素、Sr-Nd 同位素测试均在核工业北京地质研究院分析测试中心完成，主量元素测试仪器为飞利浦 PW2404X 射线荧光光谱仪，分析精度优于 5%。微量元素利用 HR-ICPMS(Element Ⅰ)电感耦合等离子体质谱仪测试，分析精度：元素含量＞10×10^{-6}。精度优于 5%，元素含量＜10×10^{-6}时，精度优于 10%。Sr-Nd 同位素测试用 Trition 热电离同位素质谱仪(TIMS)进行测试，测量精度以 2σ 计。

5　测试结果

5.1　锆石 U-Pb 年龄

青城子矿化集中区榛子沟铅锌矿煌斑岩的锆石 U-Pb 年代学数据见表 1，阴极发光 Cl 图像显示(见图 4)，锆石晶型较好，主要呈长柱状，长宽比值较大，长轴长介于 90~120 μm，短轴宽 50~80 μm，大部分具有典型的环带结构，为典型的岩浆锆石[14−15]。少数具有明显的核幔结构。本次选择 20 颗环带清楚的代表性锆石用于 U-Pb 年龄测试，20 个分析点均位于 U-Pb 协和在线或附近，$^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄为(227.7±1.3) Ma(2δ，MSWD=0.56)(见图 5)，代表岩浆结晶年龄。

5.2　主量元素

榛子沟铅锌矿煌斑岩代表性样品的主量元素、微量元素和稀土元素含量分析结果见表 2。

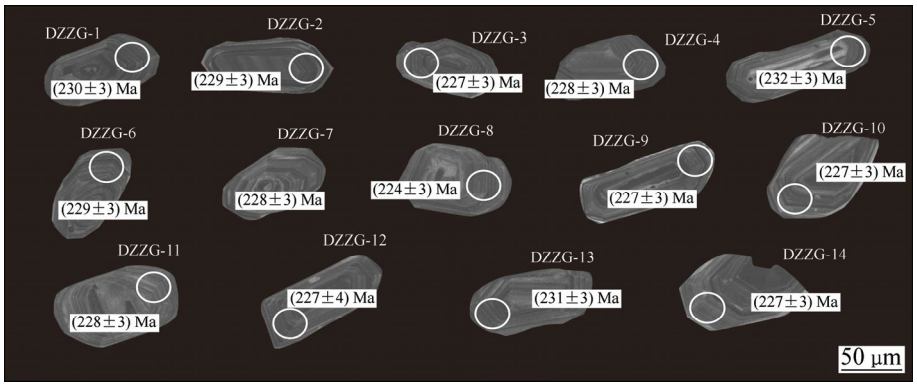

图 4　榛子沟煌斑岩岩部分典型锆石的 Cl 图像

Fig. 4　Part of representative Cl images of zircon of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit

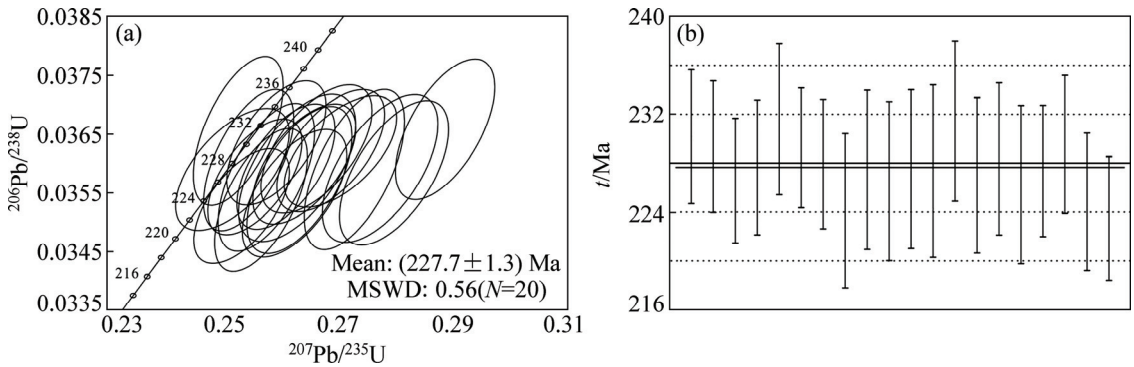

图 5　青城子矿集区榛子沟煌斑岩锆石 U-Pb 协和图及和加权平均值

Fig. 5　Zircon U-Pb concorde (a) and weighted mean ages (b) of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit

表 1 榛子沟铅锌矿煌斑岩锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 年龄分析结果

Table 1 LA-MC-ICP-MS Zircon U-Pb date for lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit

Testing point	$w/10^{-6}$		$^{206}Pb/^{238}U$	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
	Pb	U												
DZZG-1	52	1330	0.0363	0.0004	0.2594	0.0035	0.0518	0.0011	230	3	234	3	275	47
DZZG-2	58	1395	0.0362	0.0004	0.2688	0.0038	0.0538	0.0012	229	3	242	3	364	49
DZZG-3	59	1486	0.0358	0.0004	0.2557	0.0033	0.0518	0.0010	227	3	231	3	278	43
DZZG-4	51	1257	0.0359	0.0004	0.2611	0.0035	0.0527	0.0012	228	3	236	3	315	50
DZZG-5	62	1410	0.0366	0.0005	0.2886	0.0035	0.0572	0.0009	232	3	257	3	500	36
DZZG-6	30	781	0.0362	0.0004	0.2705	0.0040	0.0542	0.0013	229	2	243	4	379	55
DZZG-7	38	951	0.0360	0.0004	0.2642	0.0036	0.0533	0.0012	228	3	238	3	340	50
DZZG-8	67	1649	0.0354	0.0005	0.2567	0.0033	0.0526	0.0009	224	3	232	3	313	39
DZZG-9	37	940	0.0359	0.0005	0.2774	0.0041	0.0560	0.0013	227	3	249	4	453	51
DZZG-10	44	1131	0.0358	0.0005	0.2577	0.0034	0.0523	0.0010	227	3	233	3	296	44
DZZG-11	26	683	0.0359	0.0005	0.2630	0.0041	0.0531	0.0015	228	3	237	4	333	63
DZZG-12	88	1971	0.0359	0.0006	0.2729	0.0035	0.0551	0.0008	227	4	245	3	418	34
DZZG-13	59	1467	0.0366	0.0005	0.2528	0.0032	0.0502	0.0009	231	3	229	3	202	39
DZZG-14	50	1261	0.0358	0.0005	0.2798	0.0039	0.0566	0.0013	227	3	250	3	477	52
DZZG-15	60	1521	0.0361	0.0005	0.2546	0.0032	0.0512	0.0009	228	3	230	3	250	38
DZZG-16	42	1060	0.0357	0.0005	0.2634	0.0037	0.0535	0.0012	226	3	237	3	349	49
DZZG-17	29	771	0.0359	0.0004	0.2518	0.0040	0.0509	0.0015	227	3	228	4	235	66
DZZG-18	58	1406	0.0362	0.0004	0.2663	0.0039	0.0533	0.0011	230	3	240	4	341	45
DZZG-19	50	1305	0.0355	0.0004	0.2626	0.0037	0.0537	0.0013	225	3	237	3	356	55
DZZG-20	52	1337	0.0353	0.0004	0.2534	0.0034	0.0521	0.0010	223	3	229	3	290	45

从表 2 中可以看出，6 件新鲜的煌斑岩样品中 SiO_2 含量变化范围为 45.55%~46.82%(质量分数)，平均值为 46.08%，属于基性岩类范畴；TiO_2 含量较低，介于 1.46%~1.99%(质量分数)，K_2O 介于 2.94%~3.27%，平均 3.07%，Na_2O 含量为 1.17%~1.40%(质量分数)，平均 1.23%，K_2O/Na_2O 介于 2.34~2.64，MgO 值介于 7.48%~8.47%(质量分数)，Mg 值为 59.50~60.10，表明煌斑岩岩浆可能来源于地幔[16]。在全碱-SiO_2(TAS)图解上(见图 6(a))，煌斑岩的投影点均落入玄武岩范畴，鉴于煌斑岩易蚀变，在蚀变过程中 K、Na 等碱性金属元素较活拨，用 TAS 图解容易产生偏差，所以本次选择不易受蚀变影响的不活波元素(Ti、Zr、Y、Nb)进一步判别煌斑岩的岩石类型，在 Zr/TiO_2)-Nb/Y 判别图中(见图 6(b))，除一个样品落入粗安岩中，其余 5 件样品均落入碱性玄武岩范围，与 TAS 判别图基本一致。

5.3 稀土元素和微量元素

榛子沟铅锌矿区煌斑岩稀土元素总量介于 108.91×10^{-6}~119.08×10^{-6}，平均为 114.23×10^{-6}，LREE 含量介于 92.75×10^{-6}~101.60×10^{-6}，平均值为 97.45×10^{-6}，HREE 含量介于 16.16×10^{-6}~17.48×10^{-6}，平均为 16.78×10^{-6}，轻重稀土分异明显，LREE/HREE 比值介于 5.71~5.94，在球粒陨石标准化配分曲线中(见图 7(a))，所有样品均表现为 LREE 强烈富集、HREE 稀土亏损右倾特点。在原始地幔标准化蛛网图中(见图 7(b))，所有样品都表现出大离子亲石元素(LILE)(Ba、K)和 LREE 富集，表现出明显的峰，高场强元素(HFSE)Nb、P、Ti 亏损，表现出明显的谷。

5.4 Sr-Nd 同位素组成

榛子沟煌斑岩样品 Sr-Nd 同位素分析见表 3。从表 3 中可以看出，煌斑岩的 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 为 0.0776~0.08186，$^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 0.712503~0.712746，高于原始地幔现代值(0.7045，据文献[20])，$^{147}Sm/^{144}Nd$ 为 0.1304~0.1356，$^{143}Nd/^{144}Nd$ 为 0.512461~0.512525，低于原始地幔现代值(0.512638 据文献[21])，样品具有高 Sr 低 Nd 的特点。根据本次所测得的煌斑岩锆石 U-Pb 加权平均年龄 t=227 Ma，计算煌斑岩的$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 介于 0.71224~

表 2　榛子沟铅锌矿煌斑岩主量元素、微量元素和稀土元素分析结果表

Table 2　Chemical compositions of major element, trace elements and REE elements of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit

Component	ZG-1	ZG-2	ZG-3	ZG-4	ZG-5	ZG-6	Component	ZG-1	ZG-2	ZG-3	ZG-4	ZG-5	ZG-6
SiO_2	46.10	46.42	45.75	45.81	45.55	46.82	Be	0.91	0.87	0.89	1.41	0.96	0.86
TiO_2	1.98	1.98	1.97	1.46	1.99	1.99	Sc	25.40	27.20	24.70	21.70	24.80	23.00
Al_2O_3	15.60	15.70	15.17	14.56	15.40	15.76	V	209.00	218.00	205.00	156.00	211.00	194.00
$Fe_2O_3^T$	12.92	12.37	13.12	13.33	13.24	11.89	Cr	363.00	361.00	349.00	330.00	352.00	348.00
FeO	7.06	6.49	7.08	6.35	7.29	6.19	Co	53.50	63.40	51.90	42.80	55.10	55.10
MnO	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15	Ni	203.00	211.00	207.00	153.00	203.00	182.00
MgO	8.18	7.94	8.47	8.40	8.43	7.48	Cu	66.90	61.30	55.20	44.00	64.60	63.90
CaO	4.03	4.42	4.21	5.05	4.02	5.29	Zn	137.00	135.00	128.00	119.00	135.00	119.00
Na_2O	1.18	1.23	1.18	1.40	1.17	1.20	Ga	21.70	22.00	20.80	18.90	21.70	21.20
K_2O	3.12	3.09	2.94	3.27	2.95	3.06	Rb	22.30	23.70	21.90	21.20	21.50	21.20
P_2O_5	0.34	0.33	0.33	0.46	0.33	0.34	Sr	832.00	838.00	785.00	815.00	805.00	726.00
LOI	6.37	6.34	6.65	6.04	6.73	5.96	Nb	22.30	22.70	21.60	23.20	22.00	21.80
TOTAL	99.95	99.96	99.92	99.91	99.95	99.93	Mo	1.41	1.42	1.31	1.07	1.25	1.34
K_2O+Na_2O	4.30	4.32	4.12	4.67	4.12	4.26	Cd	0.16	0.15	0.26	0.28	0.27	0.19
K_2O/Na_2O	2.64	2.51	2.49	2.34	2.52	2.55	Sb	0.85	0.93	0.89	0.56	0.87	0.93
$Mg^{\#}$	59.60	59.90	60.10	59.50	59.70	59.50	Cs	0.94	1.12	1.06	2.56	0.92	1.12
La	21.10	21.30	20.50	23.10	20.00	18.80	Ba	329.00	311.00	291.00	289.00	306.00	309.00
Ce	41.90	42.40	40.50	41.70	43.00	41.00	Ta	1.39	1.46	1.33	1.23	1.30	1.26
Pr	5.46	5.91	5.35	5.37	5.43	5.20	Re	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Nd	23.90	24.80	23.00	20.10	22.10	21.00	Tl	0.12	0.17	0.13	0.45	0.12	0.14
Sm	5.36	5.35	4.99	4.87	5.17	4.95	Pb	10.10	10.80	22.30	54.60	24.40	22.10
Eu	1.92	1.84	1.74	1.80	1.97	1.80	Bi	0.21	0.49	0.11	1.58	0.04	0.10
Gd	4.27	4.26	3.97	4.42	4.58	4.37	Th	2.43	2.41	2.26	2.50	2.43	2.30
Tb	0.82	0.88	0.81	0.86	0.82	0.80	U	0.58	0.58	0.53	0.65	0.52	0.50
Dy	5.57	5.55	5.12	4.67	5.12	4.77	Zr	459.00	467.00	432.00	517.00	425.00	414.00
Ho	1.01	0.99	0.92	0.87	1.00	0.91	Hf	9.97	9.92	9.32	10.20	9.92	9.77
Er	2.50	2.54	2.38	2.74	2.56	2.47	Nb/U	38.18	39.14	40.91	35.69	42.15	43.86
Tm	0.40	0.43	0.38	0.34	0.38	0.36	Eu*	1.23	1.18	1.20	1.19	1.24	1.18
Yb	2.44	2.47	2.28	2.19	2.25	2.15	Ce*	0.96	0.93	0.95	0.92	1.01	1.02
Lu	0.34	0.36	0.33	0.32	0.41	0.33	Nb/Y	0.88	0.86	0.90	1.05	0.93	0.98
Y	25.30	26.50	23.90	22.00	23.60	22.30	$Zr/(TiO_2*10000)$	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02
Li	23.10	22.80	22.80	27.30	23.40	19.20							

Note: $Fe_2O_3^T$ represents content of total ion.

0.71248 之间，$\varepsilon_{Nd}(t)$=−1.53~−0.43，Nd 二阶段模式年龄(TDM_2)为 1.04~1.13 Ga，平均值为 1.07 Ga。在 $^{87}Sr/^{86}Sr$~$\varepsilon_{Nd}(t)$图中(见图 8)，样品点均落入 EM Ⅱ 附近，暗示榛子沟煌斑岩可能与交代富集的地幔成因有关。

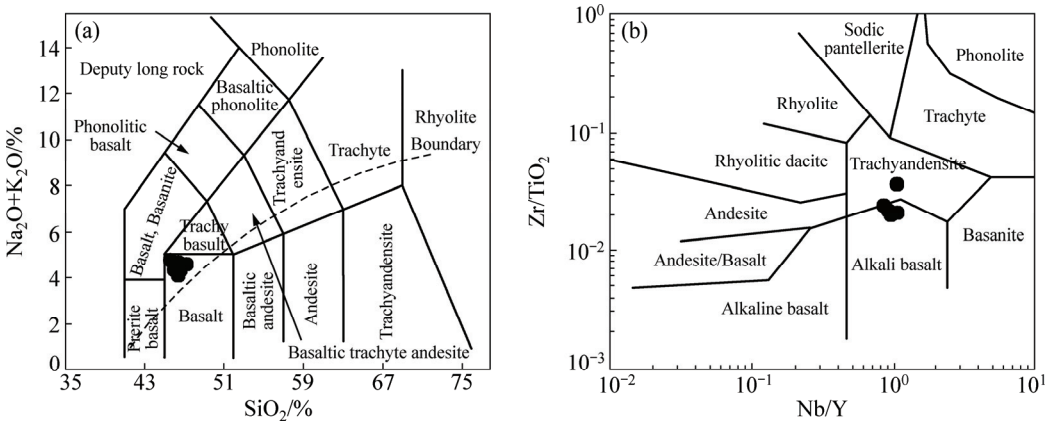

图 6 榛子沟铅锌矿煌斑岩的岩石分类图解[17−18]

Fig. 6 Classification of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit: (a) Na_2O+K_2O-SiO_2 [17]; (b) Zr/TiO_2-Nb/Y [18]

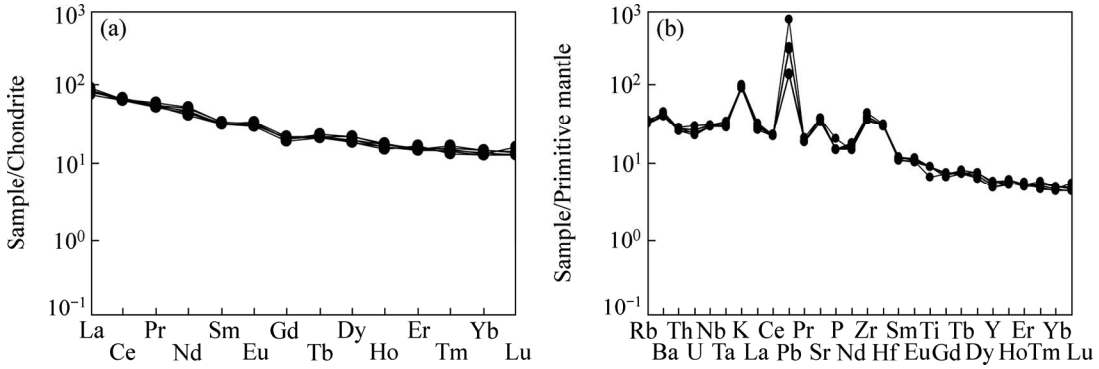

图 7 榛子沟铅锌矿煌斑岩球粒陨石标准化 REE 模式图和原始地幔标准化微量元素蛛网图[19]

Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantel normalized spidiagrams (b) of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit[19]

表 3 榛子沟煌斑岩的 Sr-Nd 同位素分析结果表

Table 3 Sr-Nd isotopic date of lamprophyres from Zhenzigou Pb-Zn deposit

Sample	w(Rb)/ 10^{-6}	w(Sr)/ 10^{-6}	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$		$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	w(Sm)/ 10^{-6}	w(Nd)/ 10^{-6}	$^{47}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	
				Ratio	2σ					Ratio	2σ
ZG-1	22.3	832	0.0776	0.712667	11	0.71242	5.36	23.9	0.1356	0.512525	7
ZG-2	23.7	838	0.08186	0.712503	9	0.71224	5.35	24.8	0.1304	0.512461	7
ZG-3	21.9	785	0.08076	0.712746	7	0.71248	4.99	23	0.1312	0.512511	7

Sample	Initial value of Ind	$\varepsilon_{Nd}(t)$	$f_{Sm/Nd}$	TDM_1 Ga	TDM_2 Ga	Age/Ma Ma
ZG-1	0.5125254	−0.43	−0.31055	1.22	1.04	227
ZG-2	0.5122666	−1.53	−0.33681	1.26	1.13	227
ZG-3	0.5123155	−0.57	−0.333027	1.18	1.05	227

6 分析与讨论

6.1 成岩年代学

有关辽东地区煌斑岩的成岩年龄前人做过大量研究，刘国平等[23]获得桃园−小佟家堡子地区煌斑岩黑云母 K-Ar 年龄(84~100) Ma；刘国平等[24]测得小佟家堡子 3 件煌斑岩 K-Ar 年龄为(130~211) Ma；姜耀辉等[25]获得辽东半岛煌斑岩的成岩年龄为(155±4) Ma。因此，前人资料显示，该地区煌斑岩侵位时代为中生代。

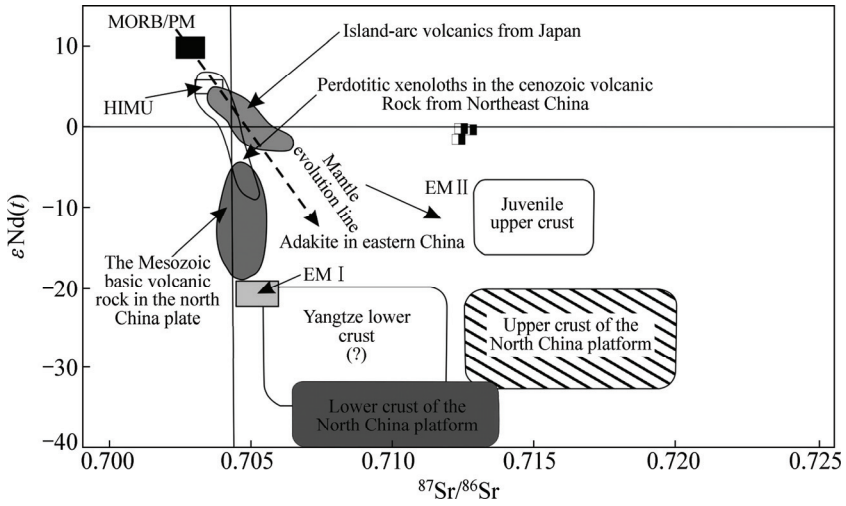

图 8　煌斑岩的 Sr-Nd 同位素图解[22]

Fig. 8　Sr-Nd isotope diagram of lamprophyre[22]

本研究中获得了榛子沟煌斑岩高精度锆石 U-Pb 谐和年龄(227.7±1.3) Ma，明显不同前人的测试结果，众所周知，煌斑岩中原生岩浆锆石含量有限，所以有关测得的锆石是否为捕获锆石还是真实反应煌斑岩的成岩年龄还待于进一步探讨。研究区围岩成岩时代为(2.0~2.2) Ga，本次测试尚未获得该阶段年龄，榛子沟矿区西南侧的双顶沟岩体成岩时代与本次测得煌斑岩相同[11]，但锆石大小、内部构造和锆石微量元素等方面两者均存在不同[1]，因此，本研究中获得的锆石年龄非捕获锆石年龄。煌斑岩锆石 Cl 图像显示锆石具有典型的岩浆震荡环带，为典型的岩浆锆石，代表岩浆结晶年龄，尽管以前研究者对研究区内煌斑岩进行 K-Ar 定年，但考虑到 K-Ar 法易于受到后期热事件影响，造成 Ar 的丢失，从而使 K-Ar 表面年龄跨度过大[26]；具有一定的局限性，因此，本研究采用高精度锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 获得的(227.7±1.3) Ma 年龄能够更精确反应榛子沟煌斑岩的成岩时代。

6.2　源区性质

煌斑岩起源于富集的大陆岩石圈地幔的部分熔融已经被大量研究证实，它不仅反映大陆岩石圈地幔的成分特征，而且是研究地幔富集事件的探针。通常认为起源于地幔的原始岩浆具有很高的 MgO(Mg＞0.7)和相容元素(w(Cr)=300×10^{-6}~900×10^{-6}；w(V)=132×10^{-6}~187×10^{-6})含量。从表 2 中可以看出，榛子沟煌斑岩具有很高的 MgO(w(Mg)=59.5~60.1)和相容元素(w(Cr)=330×10^{-6}~363×10^{-6}；w(V)=156×10^{-6}~218×10^{-6})，具有典型的幔源特点。同时榛子沟煌斑岩具有高钾(K_2O/Na_2O=2.34~3.64)、富碱(K_2O+Na_2O=4.12~4.67)，富集大离子亲石元素(Rb、Ba)和轻稀土元素、亏损重稀土元素和高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf)、高($^{87}Sr/^{86}Sr)_i$低 $\varepsilon_{Nd}(t)$的特点。前人研究表明镁铁质岩石的这些特点与俯冲作用改造的富集岩石圈地幔有关，或者与岩浆上侵过程中地壳混染有关[27−28]。

Nb 和 Ta 以及 Zr 和 Hf 具有相似的地球化学性质，很难受到分离结晶和部分熔融等岩浆过程改变，因此可以反映源区性质。研究区煌斑岩 Nb/Ta=16.34~17.29, 与原始地幔相接近(17.5±2.0)，Zr/Hf=42.37~50.69，高于原始地幔值(36.27)，同时远高于大陆地壳值(11)，这表明榛子沟煌斑岩受到大比例地壳混染的可能性极小[29]。若大量的地壳物质在岩浆上升过程中发生混染作用，需要大约 30%左右的中−下地壳物质参与[30]，这必然会导致主量元素组成发生极大变化，这与本次研究的煌斑岩样品情况不符。从微量元素蛛网图(见图 4(b))可以看出，岩石中 Nb 负异常不明显，且煌斑岩的 Nb/La 比值随 SiO_2 含量变化很小，同样说明岩浆在上升过程中地壳混染的可能性不大。综上研究认为在岩浆上升过程中可能未发生明显的地壳混染作用。

曹华文等[31]研究表明，煌斑岩不相容元素特有的 Ta-Nb-Ti 亏损模式是俯冲环境的判别标志，本区煌斑岩呈现“TNT”负异常模式，样品具有较高的 Zr/Hf 比值(42.37~50.69)，通常认为造成这一现象的原因是同小体积的碳酸盐流体交代富集过程有关[32]。在 $\varepsilon_{Nd}(t)$−($^{87}Sr/^{86}Sr)_i$图解上(见图 8)，3 件样品均落在 EM Ⅱ右上方，与 EM Ⅱ型富集地幔特征较为接近，结合前人研究[33]，本区煌斑岩的源区可能与板块俯冲带组分物质脱水产生的富集 LILE 而亏损 HFSE 的流体，俯冲流体交代富集岩石圈地幔有关。

6.3 地质意义

研究区位于华北克拉通北缘东段，这一地区的成岩、成矿及构造演化可能受到中亚造山域、苏鲁大别造山带和滨太平洋构造域的影响。同位素及元素地球化学研究表明，榛子沟煌斑岩为晚三叠世富集的岩石圈地幔部分熔融的产物，通常认为镁铁质岩浆起源于后碰撞伸展的构造背景。前人研究表明：滨太平洋俯冲时间为早−中侏罗世[34]，就晚三叠世而言并未对研究区构成影响；苏鲁大别超高压变质带形成于(238~218) Ma，同煌斑岩的成岩时代相近；古亚洲洋闭合及碰撞发生在晚二叠世—早三叠世，并且东部碰撞时间晚于西部碰撞[35]，研究区在晚三叠世可能受中亚造山域后碰撞伸展阶段的影响。综上所述，研究区可能受到中亚造山域与苏鲁大别造山带后碰撞伸展岩浆活动的影响。

晚石炭世−早二叠世，古亚洲洋板块向南俯冲于华北板块之下，华北克拉通之下的岩石圈地幔为富集状态，晚二叠−早三叠世，古亚洲洋板块发生后碰撞事件[36]，岩石圈发生变形，软流圈上涌，至晚三叠世，岩石圈地幔由富集状态转变为亏损状态，段晓侠等[11]对该地区同时代双顶沟黑云二长花岗岩进行研究，认为其为同碰撞花岗岩。本区煌斑岩地球化学特征显示其主要来源于富集的岩石圈地幔而软流圈物质并未参与其成岩。这些特征均与该时期中亚造山带处于后碰撞伸展及大量软流圈地幔演化的特征不相符。因此，中亚造山域可能并未对本区晚三叠世岩浆活动造成影响。

华北克拉通东部自胶东−辽东−吉南分布一条北东东向展布的晚三叠世岩浆岩带，该带向北延伸直至朝鲜半岛，岩性主要为碱性侵入岩和镁铁质岩石，如尖山子正长岩、中−基性岩墙、赛马−柏林川霞石正长岩等。晚三叠世碱性岩石与本研究中的煌斑岩具有相似的地球化学特征，同样被认为是来源富集岩石圈地幔，并有扬子克拉通壳源物质的加入[37]，苏鲁大别造山带同该岩浆带平行分布，表明该岩浆带与扬子−华北俯冲相关。同时在辽东晚三叠世中发现新元古代的铺获锆石[38]，新元古代岩浆事件在华北克拉通很少见，但在扬子克拉通岩浆活动事件却常见，因此认为晚三叠世该地区岩浆源区存在扬子克拉通基底物质。通过上述分析，榛子沟煌斑岩的形成于扬子克拉通向华北克拉通深俯冲的构造背景。岩浆形成机制有两种解释，即加厚的的岩石圈拆沉和俯冲的板片断离。前人对该地区双顶沟岩体年代学和元素地球化学的研究排除岩石圈拆沉成因机制[11]。因此，板片断离可能为榛子沟煌斑岩形成的主要机制。

7 结论

1) 锆石 U-Pb 年龄显示榛子沟煌斑岩形成于(227.70±1.30) Ma，属于早中生代岩浆活动的产物。

2) 榛子沟煌斑岩具有高钾(K_2O/Na_2O=2.34~3.64)、富碱(K_2O+Na_2O=4.12~4.67)，富集大离子亲石元素(Rb、Ba)和轻稀土元素、亏损重稀土元素和高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf)、高($^{87}Sr/^{86}Sr$)低 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 的特点，表明煌斑岩可能为 EMⅡ部分熔融的产物，煌斑岩的源区可能为与板块俯冲带组分脱水产生的富集 LILE 而亏损 HFSE 的流体，俯冲流体交代富集地幔有关，岩浆上升过程中可能未发生明显的地壳混染作用。

3) 结合煌斑岩的地球化学特和构造背景，认为榛子沟煌斑岩是扬子克拉通向华北克拉通深俯冲过程的板片断离的产物。

REFERENCES

[1] DUAN X X, ZENG Q D, YANG J H, LIU J M, WANG Y B, ZHOU L L. Geochronology, geochemistry and Hf isotope of Late Triassic magmatic rocks of Qingchengzi district in Liaodong peninsula, Northeast China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 91: 107−124.

[2] 将少涌. 辽宁青城子铅−锌矿床的铅同位素组成及其地质特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1987, 23(4): 112−119.
JIANG Shao-yong. Pb isotope composition at Qingchengzi lead-zinc deposit and its geological application[J]. Journal of Peking University (Natural Science), 1987, 23(4): 112−119.

[3] 陈江峰, 喻 钢, 薛春纪, 钱 卉, 贺剑锋, 邢 直, 张 巽. 辽东裂谷带铅锌金银矿集区 Pb 同位素地球化学[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(5): 404−411.
CHEN Jiang-feng, YU Gang, XUE Chun-ji, QIAN Hui, HE Jian-feng, XING Zhi, ZHANG Xuan. Pb isotope geochemistry of lead, zinc, gold and silver deposit clustered region, Liaodong rift zone, northeastern China[J]. Science in China(Series D) , 2004, 34(5): 404−411.

[4] YU G, CHEN J F, XUE C J, CHEN Y C, CHEN F K, DU X Y. Geochronological framework and Pb, Sr isotope geochemisty of the Qingchengzi Pb-Zn-Ag-Au orefield, Northeastern China[J]. Ore Geology Reviews, 2009, 35: 367−382.

[5] 马玉波, 邢树文, 张增杰, 孙景贵. 辽宁青城子榛子沟脉状铅锌矿成矿流体地球化学初探[J]. 矿床地质, 2012, 31(3): 569−578.
MA Yu-bo, XING Shu-wen, ZHANG Zeng-jie, SUN Jing-gui. Preliminary study of geochemical characteristics of ore-forming

fluid in Zhenzigou veined Pb-Zn deposit, Qingchengzi, Liaoning Province[J]. Mineral deposits, 2012, 31(3): 569−578.

[6] 马玉波, 邢树文, 张增杰, 杜晓慧, 邹跃飞, 王　岩, 李斌, 孙景贵. 辽吉裂谷区铅锌金矿床 S、Pb 同位素组成特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2013, 98(9): 1399−1410.
MA Yu-bo, XING Shu-wen, ZHANG Zeng-jie, DU Xiao-hui, ZOU Yue-fei, WANG Yan, LI Bing, SUN Jing-gui. Characteristics of the Sulfur and lead isotopic compositions of the polymetallic deposit in the Liaoji rift and their geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 98(9): 1399−1410.

[7] 贾丽琼, 莫宣学, 董国臣, 徐文艺, 王　梁, 郭晓东, 王志华, 韦少港. 滇西马厂菁煌斑岩成因: 地球化学、年代学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1247−1260.
JIA Li-qiong, MO Xuan-xue, DONG Guo-chen, XU Wen-yi, WANG Liang, GUO Xiao-dong, WANG Zhi-hua, WEI Shao-gang. Genesis of lamprophyres from Machangqing，western Yunnan: Constraints from geochemistry，geochronology and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(4): 1247−1260.

[8] 邓　欣, 周留煜.煌斑岩的特征及成因综述[J] .中山大学研究生学刊(自然科学、医学版), 2011, 32(4): 14−20.
DENG Xin, ZHOU Liu-yu. The simple classification, mineral composition and origin discussion of lamprophyre[J]. Journal of the Graduates Sun Yat-Sen University (Natural Sciences, Medicine), 2011, 32(4): 14−20.

[9] 梁亚运, 刘学飞, 李龚健, 李洪伟. 胶东地区脉岩成因与金成矿关系的研究：年代学及 Sr-Nd-Pb 同位素的约束[J]. 地质科技情报, 2014, 33(3): 10−24.
LIANG Ya-yun, LIU Xue-fei, LI Gong-jian, LI Hong-wei. Petrogenesis and connection with gold deposit of dikes in Jiaodong Peninsula, Eastern of North China Craton: Constraint on geochronology and Sr-Nd-Pb isotope[J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(3): 10−24.

[10] 符德贵, 周云满, 张长青, 陈庆广, 覃修平. 滇中小水井金矿煌斑岩特征及与金矿化的关系[J]. 地质与勘探, 2010, 46(3): 414−425.
FU De-gui, ZHOU Yun-man, ZHANG Chang-qin, CHEN Qing-guang, QIN Xiu-ping. Geological characteristics of lamprophyres and their relation with gold mineralization of the Xiaoshuijing gold deposit in central Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(3): 414−425.

[11] 段晓侠, 刘建明, 王永彬, 周伶俐, 李永贵, 李　斌, 张　壮, 张作伦. 辽宁青城子铅锌多金属矿田晚三叠世岩浆岩年代学、地球化学及地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 28(2): 595−606.
DUAN Xiao-xia, LIU Jian-ming, WANG Yong-bin, ZHOU Ling-li, LI Yong-gui, LI Bin, ZHANG Zhuang, ZHANG Zuo-lun. Geochronology, geochemistry and geological significance of Late Triassic magmatism in Qingchengzi orefield，Liaoning[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 28(2): 595−606.

[12] 杨　柳, 周汉文, 朱云海, 代　雄, 林启祥, 马占青, 菅坤坤, 张旻玥. 青海格尔木哈希牙地区中基性岩墙群地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2014, 33(6): 804−819.
YANG Liu, ZHOU Han-wen, ZHU Yun-hai, DAI Xiong, LIN Qi-xiang, MA Zhan-qing, JIAN Kun-kun, ZHANG Min-yue. Geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of intermediate to mafic dyke swarms in Haxiya area, Golmud, Qinghai Province[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(6): 804−819.

[13] 刘清泉, 邵拥军, 张智慧, 张　宇, 李　冰, 张　弛. 大别山姚冲花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及地质意义[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(2): 479−491.
LIU Qing-quan, SHAO Yong-jun, ZHANG Zhi-hui, ZHANG Yu, LI Bing, ZHANG Chi. Zircon U-Pb ages, Hf isotope characteristics and its implication of granite from Yaochong, Daibie Orogen, China[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2015, 25(2): 479−491.

[14] 刘战庆, 刘善宝, 陈毓川, 王成辉, 万浩章, 陈国华, 李赛赛, 梁力杰. 江西朱溪铜钨矿区煌斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年及地质意义[J]. 岩矿测试, 2014, 33(5): 758−766.
LIU Zhan-qing, LIU Shan-bao, CHEN Yun-chuan, WANG Chen-hui, WANG Hao-zhang, CHEN Guo-hua, LI Sai-sai, LIANG Li-jie. LA-ICP-MA zircon U-Pb isotopic dating of lamprophyre located Zhuxi Copper-Tungsten mine of Jiangxui Province and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(5): 758−766.

[15] 王　磊, 金鑫镖, 王新宇, 吴祥珂, 刘重芃, 段桂玲. 桂北罗城垒洞煌斑岩形成过程: 地球化学、年代学和 Sr-Nd-Pb 同位素约束[J]. 地质科技情报, 2015, 34(1): 10−19.
WANG Lei, JIN Xin-biao, WANG Xin-yu, WU Xiang-ke, LIU Chong-peng, DUAN Gui-ling. Forming process of lamprophyre from Leidong in Luocheng Northern Guangxi: Constrains from geochemistry, geochronology and Sr-Nd-Pb isotope[J]. Geological Science and Technology Information, 2015, 34(1): 10−19.

[16] 邓晋福. 岩石相平衡与岩石成因[M]. 武汉: 地质学院出版社, 1987.
DENG Jin-fu. Phase equilibrium and Petrogenesis[M]. Wuhan: College of Geology Republishing House Press, 1987.

[17] ROCK N M S. Lamprophyres[M]. Glasgow: Blackie, 1990: 1−285.

[18] WINCHESTER J A, FLOYD P A. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks[J]. Earth Planet Sci Lett, 1976, 28: 459−469.

[19] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//SAUNDERS A D, NORRY M J. London: Geological Society, 1989: 313−345.

[20] DEPAOLO D J, WASSERBURG G J. Inferences about magma

sources and mantle structure from variations of $^{143}Nd/^{144}Nd$[J]. Geophy Res Lett, 1979, 3: 743−746.

[21] JACOBSEN S B, WASSERBURG G J. Sm-Nd isotopic evolution of chondrites[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1980, 50(1): 139−155.

[22] 韩世炯. 小兴安岭北麓晚中生代浅成热液金矿系统的岩浆流体作用与金成矿研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 85−90.
HAN Shi-jiong. Research on magmatic fluids and gold mineralization of the late Mesozoic epithermal gold system in the North Lesser Xing'an Range[D]. Changchun: Jilin University, 2013: 85−90.

[23] 刘国平, 艾永富, 冼伟胜. 辽宁桃源−小佟家堡子金矿带煌斑岩的地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(4): 324−330.
LIU Guo-ping, AI Yong-fu, XIAN Wei-sheng. Geochemical characteristics of lamprophyre from the Taoyuan-Xiaotongjiabaozi gold ore belt and their geological significance[J]. Acta Petrologica Mineralogica, 1997, 16 (4): 324−330.

[24] 刘国平, 艾永富. 辽宁小佟家堡子金矿床成矿时代探讨[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 53−57.
LIU Guo-ping, AI Yong-fu. Study on ore-forming epoch of Xiaotongjapuzi gold deposit, Liaoning Province[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(1): 53−57.

[25] 姜耀辉, 蒋少涌, 赵葵东, 倪 培，凌洪飞, 刘敦一. 辽东半岛煌斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对中国东部岩石圈减薄开始时间制约[J]. 科学通报, 2005, 50(19): 2612−2620.
JIANG Yao-hui, JIANG Shao-yong, ZHAO Kui-dong, NI Pei, LING Hong-fei, LIU Dun-yi. SHRIMP U-Pb zircon dating for lamprophyre from Liaodong Peninsula, Constraints on the initial time of Mesozoic lithosphere thinning beneath eastern China[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(19): 2612−2620.

[26] 陈 文, 万渝生, 李华芹, 张宗清，戴橦谟，施泽恩，孙敬博. 同位素地质年龄测定技术及应用[J]. 地质学报, 2011, 85(11): 1917−1947.
CHEN Wen, WAN Yu-sheng, LI Hua-qin, ZHANG Zong-qing, DAI Tong-mo, SHI Ze-en, SUN Jing-bo. Isotope geochronology: Technique and application[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1917−1947.

[27] 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 董国臣, 和中华, 黄雄飞, 李小伟, 姜丽莉. 滇西北衙煌斑岩的岩石成因及动力学背景: 年代学、地球化学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2014, 30(11): 3287−3300.
HE Wen-yan, MO Xuan-xue, YU Xue-yun, DONG Guo-chen, HE Zhong-hua, HUANG Xiong-fei, LI Xiao-fei, JIANG Li-li. Genesis and geodynamic setting of lamprophyres from Beiya, western Yunnan: Constraints from geochemistry, geochronology and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(11): 3287−3300.

[28] 孔 华, 费利东, 钟江临, 王 高, 刘士杰, 周伟平, 全铁军. 湖南新生矿区花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(1): 229−238.
KONG Hua, FEI Li-dong, ZHONG Jiang-lin, WANG Gao, LIU Shi-jie, ZHOU Wei-ping, QUAN Tie-jun. Zircon U-Pb ages and Hf isotope and their geological significance of graniye in Xinsheng deposit, Hunan Province, China[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(1): 229−238.

[29] TAMEY J, JONES C E. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models[J]. Journal of the Geological Societyl, 1994, 151(5): 855−868.

[30] JAHN B M, Wu F Y, LO C H, TSAI C H. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: Geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China[J]. Chemical Geology, 1999, 157: 119−146.

[31] 曹华文, 张寿庭, 王长明, 宋 欣, 林进展, 李 冬. 云南个旧煌斑岩脉地球化学特征及其地质意义[J]. 地球化学, 2013, 42(4): 340−351.
CAO Hua-wen, ZHANG Shou-ting, WANG Chang-ming, SONG Xin, LIN Jin-zhan, LI Dong. Geochemical characteristics and genesis of lamprophyres in Gejiu tin deposit, Yunnan Province, China[J]. Geochimica, 2013, 42(4): 340−351.

[32] FUMAN T, GRAHAM D. Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: Geochemical evidence from the Kivu volcanic province[J]. Lithos, 1999, 48(1/4): 237−262.

[33] 孔 华, 全铁军, 奚小双, 钟江临, 陈泽锋, 王 高, 郭碧莹, 赵志强. 湖南宝山矿区煌斑岩的地球化学特征及地质意义[J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(9): 2671−2682.
KONG Hua, QUAN Tie-jun, XI Xiao-shuang, ZHONG Jiang-lin, CHEN Ze-feng, WANG Gao, GUO Bi-ying. Geochemical characteristics of lamprophyre and its geological significance in Baoshan deposit, Hunan Province, China[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(9): 2671−2682.

[34] WU F Y, YANF J H, LO C H, WILDE S A, SUN D Y, JAHN B M. Jiamusi Massif in China: A Jurassic accretionary terrane in the western Pacific[J]. Island Arc, 2007, 16: 156−172.

[35] XIAO W J, WINDLEY B F, HUANG B C, HAN C M, YUAN C, CHEN H L, SUN M, LI J L. End-Permian to Mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids, implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia[J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98: 1189−1217.

[36] ZENG Q D, LIU J M, ZHANG Z L, JIA C S, YU C M, LIU H T.Geology and geochronology of the Xilamulun molybdenum metallogenic belt in eastern Inner Mongolia, China[J]. International Journal of Earth Sciences, 2011, 100(8): 1791−1809.

[37] YANG J H, CHUNG S L, WILDE S A, WU F Y, CHU M F, LO C H, FAN H R. Petrogenesis of post-orogenic syenites in the

Sulu Orogenic Belt, East China, geochronological, geochemical and Nd-Sr isotopic evidence[J]. Chemical Geology, 2005, 214: 99−125.

[38] 杨进辉, 吴福元, 张艳斌, 张　旗, WILDE S A. 辽东半岛南部三叠纪辉绿岩中发现新元古代年龄锆石[J]. 科学通报, 2004, 49(18): 1878−1882.
YANG Jing-hui, WU Fu-yuan. ZHANG Yan-bin, ZHANG Qiang, WILDE S A. Neoproterozoic zircons found in Triassic dolerite in southern Liaodong Peninsula[J]. Science Bulletin, 2004, 49(18): 1878−1882.

Zircon U-Pb geochronology , geochemical characteristics and its geological significance of lamprophyres in Zhenzigou Pb-Zn deposit, Liaodong

ZHANG Peng[1, 2], CHEN Dong[3], ZHAO Yan[1], KOU Lin-lin[1], YANG Hong-zhi[1], WANG Xi-jin[1], SHA De-ming[1]

(1. China Geological Survey, Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110034, china;
2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;
3. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

Abstract: The petrographical, zircon U-Pb dating, geochemical and Sr-Nd isotopic characteristic of lamprophyres in Zhenzigou Pb-Zn deposit, Qingchengzi, Liaodong peninsula. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating yields an age of (227.70±1.30) Ma, the lamprophyres are the product of late Indosinian magmatism in North China Craton(NCC). Geochemically, the lamprophyres have high values of potassium (K_2O/Na_2O are 2.34~3.64), alkaline (K_2O+Na_2O are 4.12~4.67) and are enriched in large ion lithophile elements (Rb, Ba) and LREEs and depleted in the high field strength elements (Nb, Ta, Zr, Hf) and HREEs. The isotopic of lamprophyres are characterized by high $(^{87}Sr/^{86}Sr)_I$ (0.71224~0.71248)，low $\varepsilon_{Nd}(t)$ (−1.53~−0.43). Based on the geochemistry and isotope, the lamprophyres were derived from EMⅡ which are metasomatized by the enriched in large ion lithophile elements while depleted in the high field strength elements fluid from the dehydration of the subducted plate, which was not obvious undergo contamination of crust in the process of magma rising. Combined with regional tectonic evolution, the lamprophyre is originated from slab break-off during the process of Yangtze Craton and North China Craton continental deep subduction.

Key words: lamprophyres; geochronology; geochemical; Zhenzigou Pb-Zn deposit

Foundation item: Project (41502093) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (20131101803) supported by Industry Funds in the Public Interest Program, Ministry of Natural Resources, China; Project (12120113058700) supported by the Special Mineral Surveying Program, China

Received date: 2015-03-10; **Accepted date:** 2015-08-30

Corresponding author: ZHANG Peng; Tel: +86-13674187996; E-mail: syzhangpengcgs@163.com

(编辑　李艳红)