

广东凡口 MVT 铅锌矿床成矿年代

——来自辉绿岩锆石 SHRIMP 定年证据

祝新友^{1,2)}, 王京彬^{1,2)}, 刘慎波³⁾, 王艳丽²⁾, 韩英⁴⁾, 甄世民⁵⁾, 郭宁宁⁴⁾

1) 北京矿产地质研究院, 北京, 100012; 2) 有色金属矿产地质调查中心, 北京, 100012;

3) 中金岭南凡口铅锌矿, 广东韶关, 521323; 4) 昆明理工大学, 昆明, 650093;

5) 中国地质大学(北京), 北京, 100083

内容提要:广东凡口铅锌矿床是我国超大型铅锌矿床之一, 已探明铅锌金属含量已达千万吨。矿床赋存于华南泥盆系海进序列中上部的白云质碳酸盐岩中, 矿体呈不规则状受断裂构造控制, 具有密西西比河谷型(MVT)矿床特点。矿区发育辉绿岩脉, 多呈 NWW 向, 部分呈 NNW 向, 靠近矿体的辉绿岩全部粘土化和碳酸盐化。辉绿岩穿切硫铁铅锌矿, 同时辉绿岩中也含有浸染状铅锌矿细脉, 显示辉绿岩形成于成矿作用的晚期, 成矿作用持续时间长, 辉绿岩就位时间短, 就位后成矿作用仍在继续, 因此, 辉绿岩就位年龄可基本代表成矿作用年代。辉绿岩中锆石 SHRIMP 年龄主要集中于 2213~957Ma、341~216Ma、138~127Ma、122~90Ma 4 个区间, 前二组代表捕获围岩的锆石。通过凡口矿床地质特点、区域地质演化以及区域内铀矿、辉绿岩年龄数据的比较, 122~90Ma 组代表了凡口辉绿岩的侵位时代, 相当于早白垩世晚期, 显示铅锌矿化形成于华南板内拉张构造环境, 与该时期发育大规模红层盆地相对应。由此建立区域(凡口式)铅锌矿化模型: 白垩纪始, 随着五夷山的隆起, 阻断了太平洋暖湿气流的西进, 华南地区开始了红层盆地发育阶段, 铅锌矿主要分布于这些红层盆地周边地区; 来自红层盆地的盆地卤水与来自生烃层的富硫的还原性卤水混合, 形成铅锌矿床。

关键词: 密西西比河谷型; 铅锌矿床; 红层盆地; 成矿年代; 辉绿岩

凡口铅锌矿床位于广东省韶关市仁化县, 从 20 世纪 60 年代发现以来, 累计探明铅锌储量近千万吨, 具有 18 万吨铅锌金属年采选能力, 是我国最大规模的铅锌矿山之一。矿床地处南岭中生代锡钨多金属成矿带, 矿床成因争议较大, 近年来, 包括喷流沉积型(陈学明等, 1998, 1999; 邓军等, 2000)、岩浆热液型(翟丽娜等, 2009)、多因复成型等(张术根等, 2009), 越来越多的观点指出其铅锌矿属于 MVT 成因。MVT 铅锌矿床成矿年代的测定一直是世界性的难题, 自 80 年代初 Shepherd 等(1981)开展以石英流体包裹体为对象的 Rb-Sr 等时线定年法研究钨矿年龄以来, 国内外开展了大量 MVT 铅锌矿闪锌矿流体包裹体测年的研究(Nakai et al., 1990, 1993; Shelton et al., 2009), 其中, 凡口矿床也获得了一批年代学数据(蒋映德等, 2006, 2007; 张术根等, 2009), 但这些数据尚难以与地质背景的解释一

致, 从而也影响了对凡口铅锌矿床成因与成矿规律认识的深入。自 2009 年始, 为配合国家危机矿山勘查项目的进行, 开展了凡口典型矿床成矿规律研究工作, 通过系统调查矿化与辉绿岩的关系, 以辉绿岩作为测定对象, 获得了较满意界定成矿时代的间接年龄数据。

1 矿床地质概况

凡口矿床位于华夏地块中部, 南岭有色金属成矿带的中段。凡口铅锌矿地处粤北曲(江)仁(化)中生代盆地北缘(图 1), 距离北部的九峰早燕山期花岗岩体约 10km。矿区主要地层包括寒武系(?)变质细碎屑岩(图 2), 泥盆统桂头群(D_2gt)紫红色石英砂岩, 中泥盆统棋梓桥组杂色砂岩(D_2q , 相当于矿区东岗岭组下亚组), 上泥盆统余田桥组(D_3s)白云岩、白云质灰岩, 下部夹砂岩(相当于矿区东岗岭

注: 本文为全国危机矿山接替资源找矿项目“湘南—粤北地区锡钨多金属矿床成矿规律总结研究”(编号 20089927)、科技部支撑课题“MVT 型铅锌矿深部勘查技术与找矿示范研究”(编号 2009BAB43B05)、广西“地质工程中心重点实验室建设”项目(编号 11-031-20-K2)共同资助的成果。

收稿日期: 2011-12-22; 改回日期: 2012-11-15; 责任编辑: 郝梓国, 黄敏。

作者简介: 祝新友, 男, 1965 年生。教授级高工, 主要从事矿床学研究。Email: zhuxinyou@gmail.com。

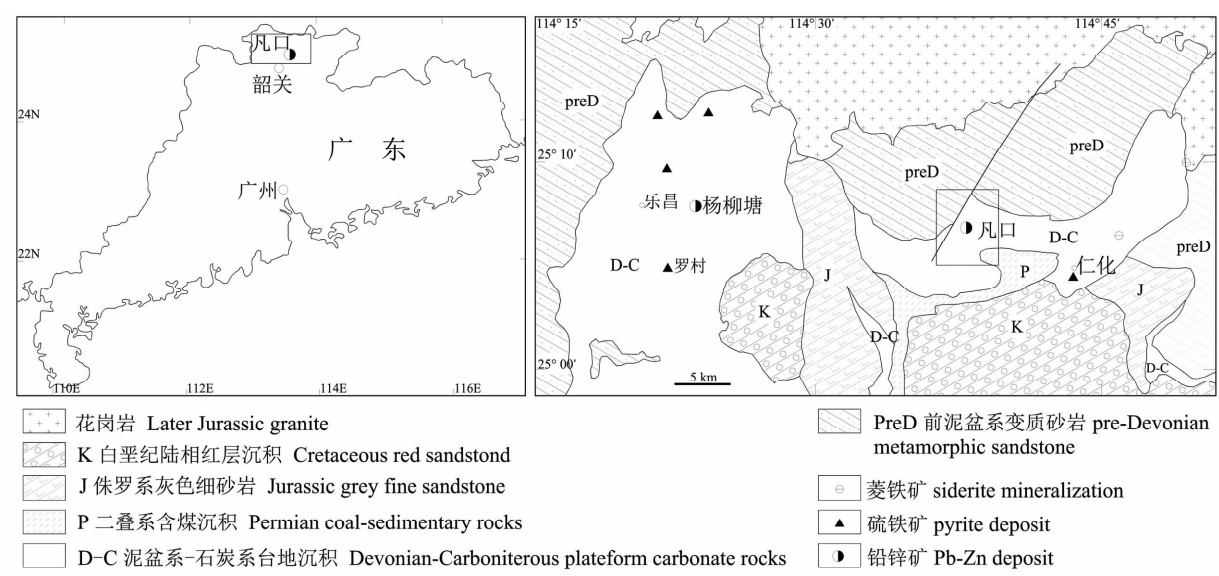


图 1 广东曲仁盆地北缘地质略图

Fig. 1 Sketch geological map of the north margin of Qujiang-Renhua Mesozoic basin in Guangdong

组上亚组+天子岭组下亚组),上泥盆统锡矿山组(D_3x)白云质花斑灰岩、生物碎屑灰岩、瘤状灰岩,帽子峰组(D_3m)泥灰岩等。 D_3x 白云质花斑灰岩之上往往直接覆盖上石炭统壶天群厚层白云岩(C_2sh),期间缺失 300~500m 的地层,属于区内 NWW 向缓倾角断裂作用的结果。矿区东南侧凡口向斜核部发育二叠系海陆交互暗灰色细碎屑岩,其中上二叠统为含煤沉积(龙潭煤系)(郑谋德,1997)。在矿区南部的曲仁盆地广泛分布有侏罗系杂色碎屑岩和白垩系厚大红层沉积。

凡口发育多期断裂构造,成矿前为大规模 NWW 向缓倾角断裂,造成矿区下石炭统和部分上泥盆统的缺失,并构成成矿作用的上部边界;成矿期断裂呈 NNE 向,具右行压扭特点,所有硫化矿体均位于断裂或断裂两侧。成矿后断裂为 NW 向,错断矿体。

矿体包括硫铁矿体和硫铁铅锌矿体,二者紧密相伴出现。矿体呈不规则状、囊状、似层状。含矿地层为余田桥组和锡矿山组的白云岩、白云质灰岩,在上部块状白云质灰岩中的矿体多呈不规则囊状,下部白云岩夹细石英砂岩中的矿体多呈不规则似层状,沿其中的碳酸盐岩层交代。矿石主要呈块状,主要金属矿物为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,少量黄铜矿、毒砂、黝铜矿等,脉石矿物主要为方解石、白云石,少量石英。闪锌矿广泛发育环带结构,环带核部色深,含 Fe 高,常见乳滴状黄铜矿,大多数闪锌矿核部见有细粒石英和白云母碎屑,属于沉积岩被交代的残

留物;环带边缘呈浅黄色。
矿床类型属于与盆地卤水作用有关的层控低温热液型,大体与 MVT 矿床可类比,张术根等(2009)总结认为属于“凡口式”MVT 铅锌矿床。

2 辉绿岩与铅锌矿化的关系

粤北地区凡口、杨柳塘等铅锌矿床中辉绿岩发育,其结构构造与岩石化学特征大体相似,均遭受较强烈的碳酸盐化,呈灰白色,块状,结晶细,含少量钛铁矿和方解石细脉。只有非常少量的辉绿岩中保存有基性斜长石。大部分辉绿岩独立于铅锌矿体,其分布与铅锌矿体无直接的空间联系。对铅锌矿与辉绿岩的形成次序关系,前人有完全不同的认识,多数观点认为辉绿岩形成于成矿之后(赖应箴,1988),部分人认为辉绿岩形成早(张术根等,2009;邱小平,1991),也有人认为存在两期辉绿岩,形成于成矿前和成矿后(翟丽娜等,2009)。

2.1 辉绿岩与铅锌矿化的穿插关系

凡口铅锌矿床中,只发现少量的辉绿岩与矿体直接接触,如狮岭—400m 中段 S19 穿脉巷道、NW210 矿体的沿脉巷道中、—455m 中段 N2 穿脉等地。

在狮岭—400m 中段 S19 穿脉巷道,地层为 D_2d^b 中厚层状灰岩及砂质灰岩,走向 NW340°,倾向 NE(图 3a)。铅锌矿体走向 NW,大体顺层分布,其中含交代残留的层理。矿石呈块状,其中包括有块状黄铁矿和块状铅锌矿。辉绿岩走向 NWW280°,走向 NW340°,倾向 NE(图 3a)。铅锌矿体走向 NW,大体顺层分布,其中含交代残留的层理。矿石呈块状,其中包括有块状黄铁矿和块状铅锌矿。辉绿岩走向 NWW280°,走向 NW340°,倾向 NE(图 3a)。

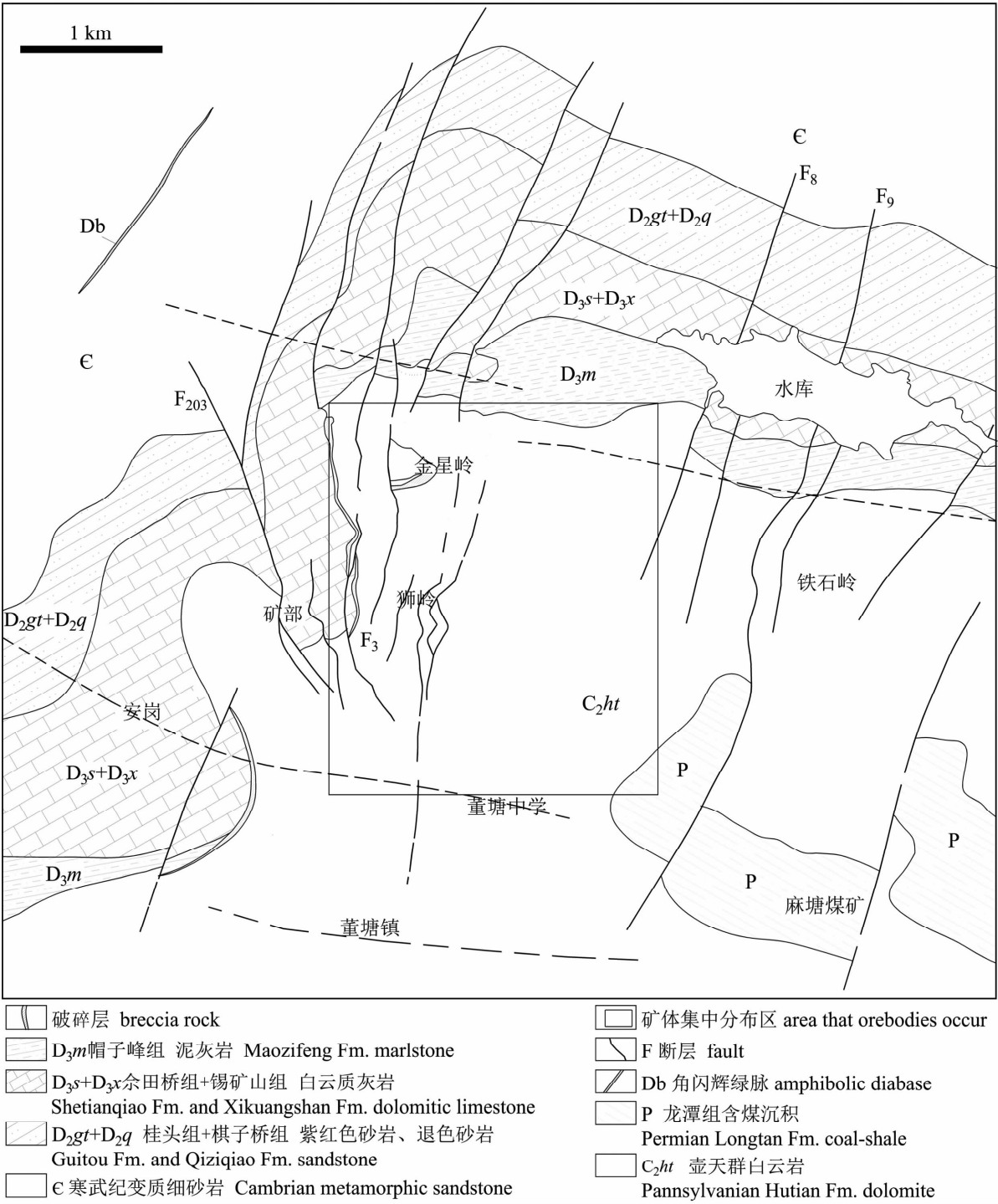


图 2 广东凡口铅锌矿床地质简图^②

Fig. 2 Geological map of Fankou lead-zinc deposit in Guangdong^②

部分沿 NWW 向张性节理分布,向北缓倾,长约 30m,宽 3~8m,切断了铅锌矿体(图 3b)。辉绿岩内部灰白色,全部发生强烈的粘土化,边部发育冷凝边,两侧白云岩发生大理岩化。在辉绿岩与铅锌体接触部位,灰白色的辉绿岩中也发现一些方铅矿、闪锌矿的不规则状小脉(图 3d)。在-455m 中段 N2

穿脉,辉绿岩穿切了早期形成的铅锌矿体(图 3c),块状矿体中残留有条带,与地层产状一致。在紧邻矿体的辉绿岩边部也出现一些闪锌矿方铅矿细脉。

南岭地区发育大量的中生代辉绿岩,这些辉绿岩主要是花岗岩晚期分异的产物,属壳幔混合的岩浆分异的基性端元,常代表了最后一期岩浆侵入活

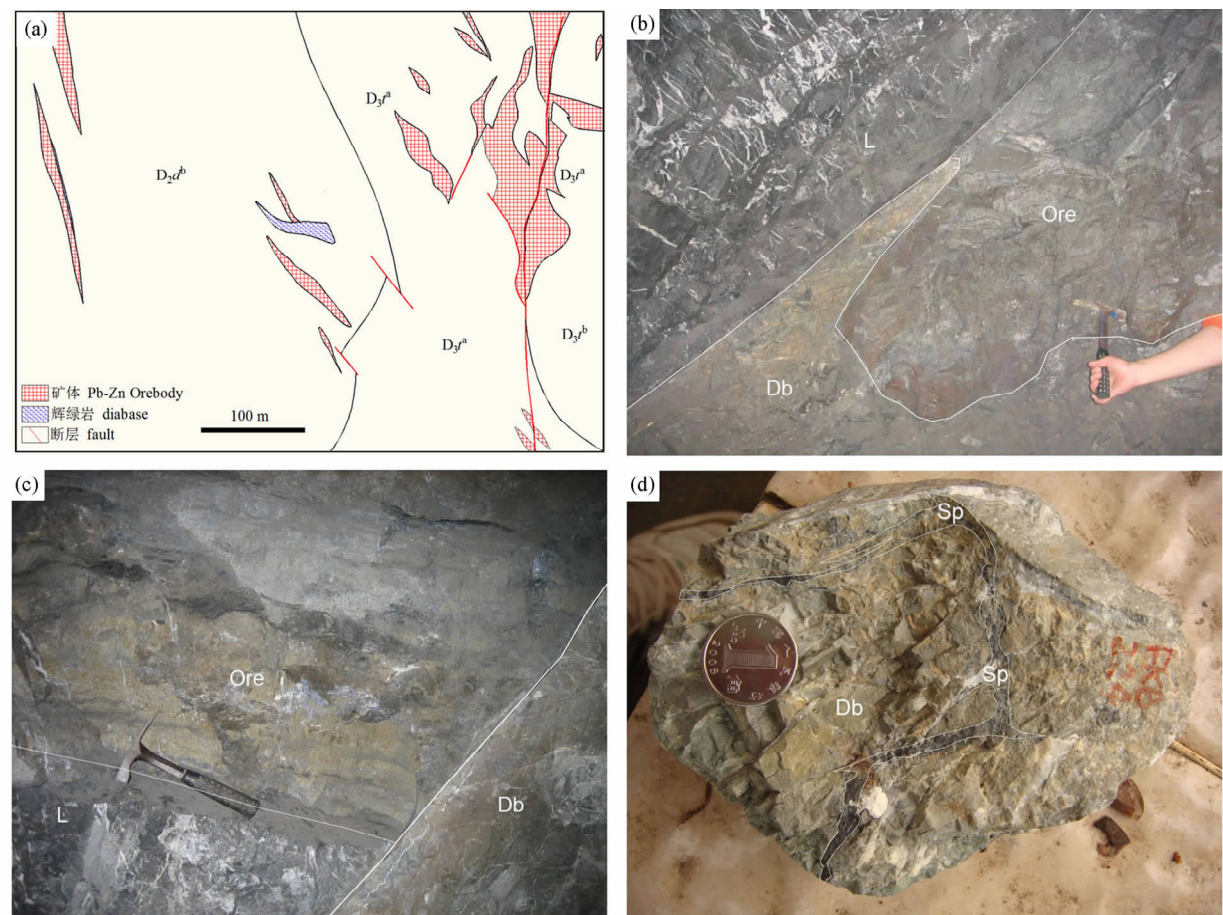


图 3 广东凡口铅锌矿辉绿岩特征

Fig. 3 The characteristic of diabase in Fankou lead-zinc deposit in Guangdong

(a)—NWW 向辉绿岩脉切断 NW 向矿体,图中绿色为辉绿岩;(b)—辉绿岩穿切块状铅锌矿体;(c)—辉绿岩切断的似层状块状硫铁铅锌矿体, -455m 中段,狮岭 N2 穿脉巷道;(d)—辉绿岩中发育硫化物细脉, -400m 中段,狮岭 S19 穿脉巷道;Db—辉绿岩;L—碳酸盐岩;Ore—硫铁铅锌矿体;Sp—闪锌矿脉

(a)—NWW-trend diabase cutting off NW-trend ore; (b)—diabase break the massive Pb-Zn deposit; (c)—diabase break the bedded and massive Pb-Zn deposit; (d)—sulfide veinlets appear in the diabase. Db—diabase; L—carbonate; Ore—lead-zinc deposit; Sp—sphalerite veins

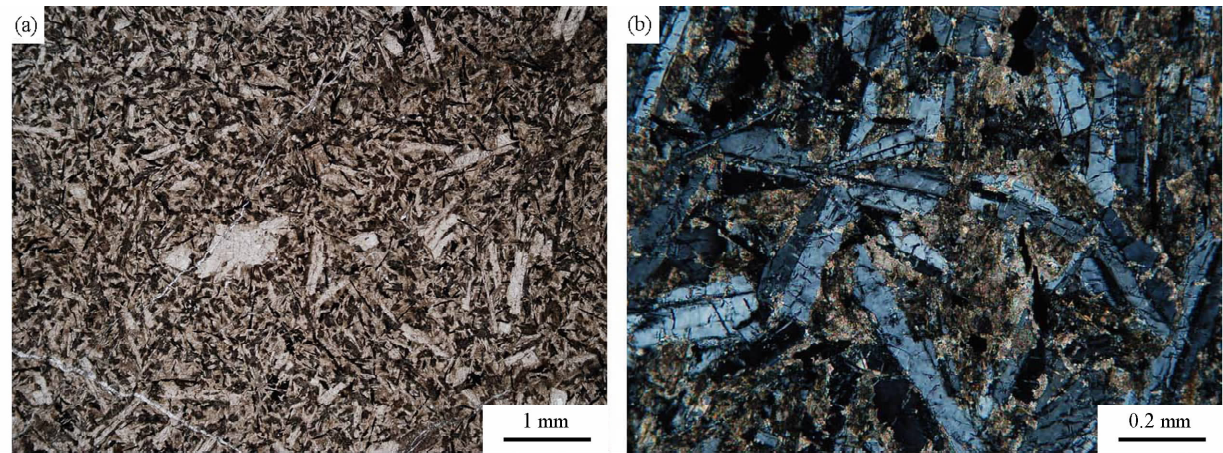


图 4 广东凡口铅锌矿辉绿岩的显微结构

Fig. 4 The microstructure of diabase in Fankou lead-zinc deposit, Guangdong

(a)—辉绿岩的斑状结构,辉石斑晶已方解石化,长石全部粘土化,透射光, -; (b)—辉绿岩基质中残留的基性斜长石,部分方解石化和粘土化,透射光,正交偏光

(a)—Porphyritic texture of diabase, the pyroxene phenocryst was calcitization and all the feldspars were clayization;

(b)—basic plagioclase remain in the matrix of diabase and part of them are calcitization or clayization

动,在柿竹园、瑶岗仙均有分布,侵入时间晚于锡钨多金属矿床的成矿。在粤东北地区,辉绿岩常与铀矿化密切相关,如著名的“交点型”铀矿(王正其等, 2007b),矿化产于 NWW 向辉绿岩脉与北东向硅化断裂带交汇处,铀矿化晚于辉绿岩,交代辉绿岩。

2.2 辉绿岩岩性特点

凡口矿区辉绿岩性较复杂,多为辉绿岩,部分为斜闪煌斑岩和辉石闪长岩,主要结构为辉绿结构、煌斑结构等。大部分辉绿岩遭受了强烈低温蚀变,绝大部分硅酸盐矿物蚀变分解(图 4a),目前主要表现为粘土矿物、方解石、锐钛矿等,不均匀出现少量浸染状黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物,只有少量远离硫化物矿体的辉绿岩脉蚀变相对较弱(图 4b),其中残留有基性斜长石,但其中的暗色矿物和钛铁矿已全部分解。辉绿岩结构构造保存完好,且保留有蚀变前矿物的晶形。按照蚀变前矿物特点,主要矿物为中基性斜长石、少量绿泥石等,其中斜长石含量 >50%,细粒,柱状,长<0.1mm,长柱比>5,部分呈锥晶。这种矿物组成显示出中基性岩的特征,岩石结构显示出浅成侵入岩的快速结晶特性,与煌斑岩相似。

由于辉绿岩多强烈蚀变,其岩石化学成分的烧失量较大,但总体显示出基性火成岩特点,组成与华南地区辉绿岩成分基本一致(表 1),REE 配分特点与李献华等(1997)研究的贵东岩体、诸广山岩体中的白垩纪基性脉岩以及上庄铀矿田的辉绿岩(Liang X Q et al., 2005)相似。

凡口、杨柳塘等地辉绿岩的研究均显示,辉绿岩侵入特点、岩性、化学成分等均相似,属于同一期侵入活动的产物,没有证据显示存在两期或多期辉绿岩。辉绿岩与铅锌矿体(或矿化)的空间关系显示,宏观上辉绿岩切断硫化物矿体,主体形成于成矿后。但辉绿岩中也发育少量的铅锌硫化物细脉,且辉绿岩蚀变程度与靠近铅锌矿体的距离有关,因此,辉绿岩侵入之后,铅锌矿化作用仍在继续。即铅锌矿化的持续时间远长于辉绿岩侵入所持续的时间,辉绿岩是在铅锌硫化物矿化近晚期阶段侵入的,辉绿岩

的侵入时代可大体反映成矿作用的年代。

3 锆石年龄测定结果

辉绿岩样品取自凡口矿床—400m 中段狮岭 S19 穿巷,该处辉绿岩与铅锌矿体有确切的穿切关系(图 3a、3b、3d)。辉绿岩中锆石含量很低,且粒度细小,分离出的锆石颗粒细小,粒径一般<0.2mm,透明一半透明。大部分呈柱状或针状自形晶,白色或茶色,少量呈它形不规则状且表面有溶蚀坑,多呈紫色,粒度相对大。

制样时,不同颜色的锆石分别制靶。锆石的阴极发光图像如图 5,锆石生长环带较明显。较粗粒它形,锆石中往往含有深色内核,年龄值往往很大;细粒自形晶锆石内核一般不明显,年龄相对低,但跨度大。辉绿岩的锆石 U、Th 含量变化很大,规律性不显著,但总体上明显低于南岭地区燕山早期花岗岩中的锆石,阴极发光下的颜色也较浅。

锆石的 U-Pb 年龄是在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成的。测试原理和操作流程见宋彪等(2002)文章。用标准锆石 TEM(其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 416.8±1.3Ma)进行元素间的分馏校正。普通铅根据实测的²⁰⁴Pb 进行校正,年龄数据的处理根据实验室相关软件完成。单个测定点的同位素比值误差和年龄误差分别为 1σ 相对误差和 1σ 绝对误差,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值的误差为 95%置信度误差。根据锆石样品的透射光、反射光和阴极发光图像,离子探针测点选择颗粒表面光洁、无裂痕的位置。分析结果如表 2,选择的数据均具有较低的普通铅含量,U、Th 含量变化较大,但 Th/U 比值均较低。

锆石 SHRIMP 年龄值很分散,主要集中于 2213~957Ma、341.2~216.5Ma、138.1~127.1Ma、122.6~90.3Ma 等区间(表 2),除较老的年龄值以外,总体上落入一条谐和演化曲线附近(图 6)。>975Ma 的锆石主要呈浅紫色较粗粒,其中多含有继承性锆石内核,它的成因特点可能与南岭花岗岩中的继承性锆石相似。341~216Ma 的锆石部分有

表 1 广东凡口铅锌矿辉绿岩化学组成(%)

Table 1 Chemical composition of the diabase in Fankou lead-zinc deposit, Guangdong(%)

	样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	烧失量	FeO	总和
1	FKC-10	48.00	16.57	2.23	3.90	6.02	0.33	0.58	0.10	2.20	0.19	11.74	7.15	99.01
2	FKC-82B	47.67	13.94	3.40	5.37	9.84	1.70	0.73	0.12	2.42	0.18	6.49	7.65	99.51

注:分析单位为北京核工业分析测试中心,2009;分析方法为 X 荧光光谱法。

表 2 广东凡口铅锌矿床辉绿岩锆石 SHRIMP 分析结果

Table 2 Dating results of SHRIMP U-Pb zircon from the diabase in Fankou lead-zinc deposit, Duangdong

点号	²⁰⁶ Pb _c (%)	U (×10 ⁻⁶)	Th (×10 ⁻⁶)	²³² Th/ ²³⁸ U	年龄(Ma)						比值					
					²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	%	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	%	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	%
1	0.24	59	33	0.57	2212.5	55.2	2147	24	2061	80	0.1337	1.4	7.55	3.2	0.4095	2.9
2	0.00	175	126	0.74	1702.8	41.6	2118	20	1598	49	0.1315	1.2	5.48	3	0.3023	2.8
3	0.00	173	135	0.81	1082.9	34.7	1112	54	1042	40	0.0766	2.7	1.93	4.4	0.1829	3.5
4	0.00	271	45	0.17	957.2	23.6	972	24	972	34	0.0715	1.2	1.58	2.9	0.1601	2.7
5	0.00	142	74	0.54	341.3	9.1	324	60	297	17	0.0529	2.6	0.4	3.8	0.0544	2.7
6	0.88	536	721	1.39	234.8	2.6	105	117	222	24	0.0481	5.0	0.25	5.1	0.0371	1.1
7	0.62	353	294	0.86	225.6	2.1	144	143	240	7	0.0489	6.1	0.24	6.2	0.0356	0.9
8	0.00	90	53	0.60	224.1	6.8	448	137	231	13	0.0559	6.2	0.27	6.9	0.0354	3.1
9	0.12	1644	777	0.49	216.5	0.9	198	40	223	3	0.0501	1.7	0.24	1.8	0.0342	0.4
10	1.49	288	132	0.47	138.1	1.7	34	233	141	11	0.0467	9.7	0.14	9.8	0.0217	1.2
11	1.55	289	156	0.56	134.7	1.5	—56	156	125	6	0.045	6.4	0.13	6.5	0.0211	1.2
12	1.33	423	449	1.10	130.6	1.3	—20	209	129	4	0.0457	8.7	0.13	8.7	0.0205	1.0
13	1.34	932	1332	1.48	130.6	1.1	142	230	134	4	0.0489	9.8	0.14	9.8	0.0205	0.9
14	2.63	303	118	0.4	130.3	2.5	—12	383	135	20	0.0458	15.9	0.13	16	0.0204	2.0
15	0.00	73	97	1.38	129.1	5.9	119	204	131	10	0.0484	8.7	0.14	9.8	0.0202	4.6
16	0.29	271	468	1.78	127.1	3.6	225	119	124	4	0.0506	5.1	0.14	5.9	0.0199	2.8
17	0.43	1124	1273	1.17	112.6	1.1	71	122	109	2	0.0474	5.1	0.12	5.2	0.0176	1.0
18	1.08	633	897	1.46	112.2	1.0	113	153	111	3	0.0483	6.5	0.12	6.5	0.0176	0.9
19	0.23	393	232	0.61	110.6	2.9	47	99	104	4	0.047	4.2	0.11	4.9	0.0173	2.7
20	0.04	5491	7224	1.36	110.0	0.3	87	22	105	1	0.0478	0.9	0.11	1	0.0172	0.3
21	0.12	591	441	0.77	105.6	2.8	—12	77	94	4	0.0458	3.2	0.1	4.1	0.0165	2.6
22	0.00	544	505	0.96	100.0	2.7	96	70	100	3	0.0479	3.0	0.1	4	0.0156	2.7
23	0.00	115	102	0.91	90.3	3.0	351	171	94	6	0.0535	7.6	0.1	8.3	0.0141	3.3

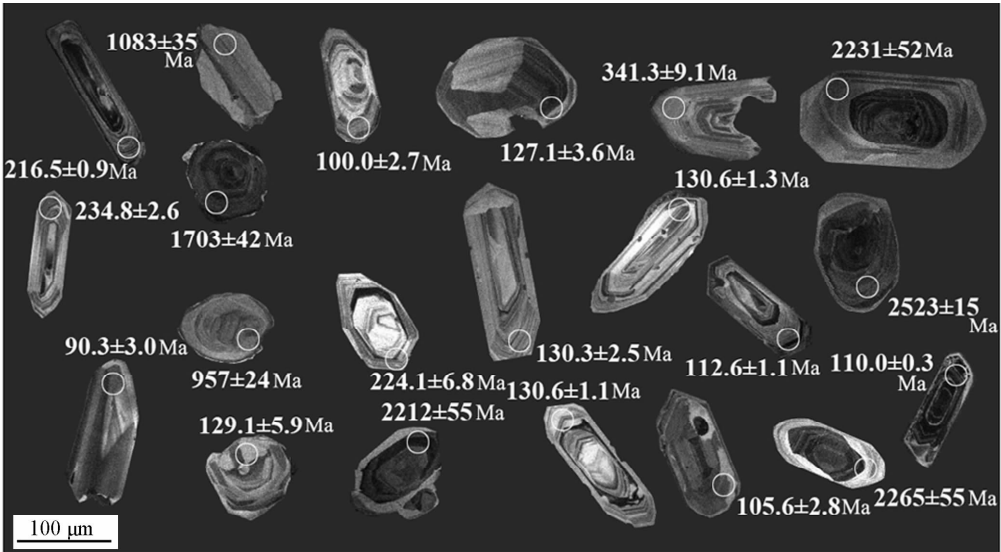


图 5 广东凡口铅锌矿辉绿岩中锆石的阴极发光图像

Fig. 5 CL photos of zircons from diabase in Fankou deposit, Guangdong and the positions of dating points

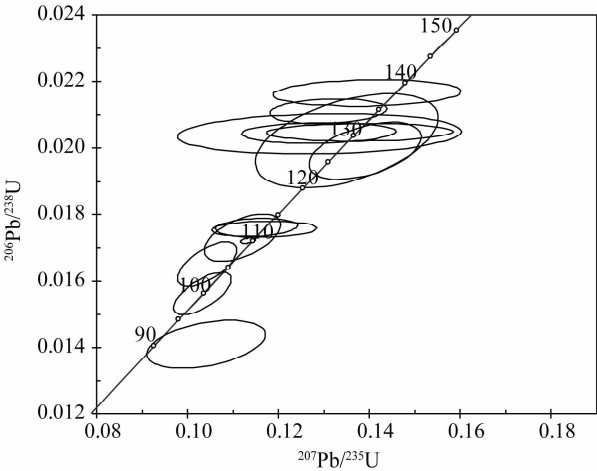


图 6 广东凡口矿床辉绿岩 SHRIMP U-Pb 锆石年龄谱和图

Fig. 6 Concordia diagram of zircon SHRIMP U-Pb of diabase in Fankou lead-zinc deposit, Guangdong

内核且表面被溶蚀；138~127Ma 阴极发光的颜色较浅；122~90Ma 的锆石颗粒多较细小，无内核，环带简单，阴极发光的颜色相对深。

虽然基性火成岩作为锆石 SHRIMP 定龄已得到较广泛的研究，但基性岩中锆石的成因仍较复杂，其年龄仍有不同的解释。一般认为，辉绿岩岩浆属于贫硅硅酸盐体系，大多数锆石捕获自基性岩浆上侵过程中的围岩，只有少量锆石是基性岩浆原生结晶的（侯贵廷等，2005），造成基性岩中锆石 SHRIMP 年龄常具有宽泛的范围。样品中 > 900Ma 的数据的锆石，含有继承性锆石内核，可能

是深部老变质岩的反映，341.2~216.5Ma 年龄与古生代围岩年龄一致，可能代表辉绿岩侵位过程中从围岩捕获的锆石。因此，凡口辉绿岩有意义的成岩年龄应为 138.1~127.1Ma 和 122.6~90.3Ma，各有 7 个数据点，前者可能与源区年龄有关，后者应代表辉绿岩的就位年龄。

4 讨论

4.1 MVT 矿床及凡口铅锌矿成矿年代学测定方法回顾

到目前为止，国内外仍缺乏 MVT 铅锌矿床成矿年代学有效的测定方法，主要原因是缺乏各种年代学方法的测定对象。MVT 铅锌矿床矿物组合简单、基本不含含钾硅酸盐矿物，也不发育富含 Re-Os 的矿物，方解石的稀土含量很低且较均匀，因此，目前常用的年代学测定方法，如 K-Ar、Rb-Sr、⁴⁰Ar-³⁹Ar、Re-Os 以及 Sm-Nb 等时线等方法，定年多不能达到目的。

流体包裹体 Rb-Sr（或⁴⁰Ar-³⁹Ar）等时线年龄测定是以爆裂方法或真空击碎法打开矿流体包裹体测定分析完成的。该方法始于 20 世纪 80 年代初（Shepherd et al., 1981），开始即用于解决 MVT 铅锌矿床的定龄研究，以闪锌矿的流体包裹体成分测定其 Rb-Sr 等时线年龄（Nakai et al., 1990, 1993; Brannon et al., 1992），目前，此类方法较广泛应用于缺乏可靠测定矿物的一些矿床成矿年代研究工作中（邱华宁等，1989；Qiu H N, 1996），测定矿物包括

闪锌矿、萤石、石英、黄铁矿等,获得了一大批金矿、铅锌矿的年龄数据(邱华宁,1999)。虽然如此,这类方法获得的年龄值具有很大的不确定性,矿石中流体包裹体中的 K 含量很低,而石英或闪锌矿中常包裹有一些含钾矿物,如钾长石、白云母、粘土等,这些矿物不一定是成矿期形成的,有可能是包裹的碎屑, Rb-Sr 或 Ar 含量往往与其中所含微量钾矿物有关,含量达到甚至高于流体包裹体中的含量,测得的年龄可能不代表成矿年龄。

凡口铅锌矿床成矿年代的研究经历了较长的时期,对成矿年代的认识也有多种观点,至今仍争论不休。喷流沉积成因的观点认为成矿时代为中晚泥盆世;沉积-改造或目前流行的多因复成观点则认为,硫铁矿主体属沉积成因,铅锌矿主体属后期改造成因,前者形成于中晚泥盆世,后者时间待定,多认为在燕山期(张术根等,2009;邱小平,1991)。近年来,蒋映德等(2006,2007)利用闪锌矿的流体包裹体开展⁴⁰Ar-³⁹Ar 等时年龄测定,在 2 件富含钾矿物的闪锌矿样品中获得的年代为 233.6±7.4Ma、265.8±1.0~270Ma,认为前者为改造年龄,后者为成矿年龄,由此推断凡口矿床形成于二叠纪中期。

大量的岩矿鉴定显示,凡口矿床的绝大部分闪锌矿发育有环带结构,核部颜色深,边部颜色浅。闪锌矿颗粒棕黑色核心部位常包裹有很多石英、白云母微粒(图 7a、7b),石英粒径一般<3μm,白云母一般长<10μm。这类白云母也常见于黄铁矿中或硫化物粒间。白云母含量与矿体围岩岩性有关,产于

上泥盆统厚层碳酸盐岩中的矿体,白云母含量较少,而产于中泥盆统东岗岭组上亚组(D₂d^b)粉砂质白云岩中的矿体,矿石中含白云母相对较多。这些白云母与粉砂质白云岩或钙质粉砂岩中的白云母特点相似,石英和白云母均呈它形不规则状,尤其是石英,形态极不规则,应该属于硫化物交代围岩过程中石英、白云母的残留,即这些石英、白云母应属于砂屑性质。蒋映德(2006,2007)的研究也认识到闪锌矿中含有富钾矿物,但未能区别出矿物类型和成因。因此,其所获得的年龄数据不代表成矿年代,应该介于沉积年龄与热液活动年龄之间。

张术根(2009)曾强调凡口铅锌矿化对辉绿岩的交代作用,认为辉绿岩形成于成矿之前。曾试图使用辉绿岩全岩 Rb-Sr 等时线界定成矿年龄的上界,年龄值为 163±200Ma(张术根等,2002,2009)。由于凡口矿床的辉绿岩绝大部分已深度蚀变,因此不难理解该数据的精度之差。

4.2 凡口矿床成矿年代的讨论

凡口向斜核部地层为上二叠统,NWW 向强烈褶皱,部分倒转,伴随大规模 NWW 向的缓倾角逆冲断裂。华南地区这类 NWW 向逆冲构造形成多与印支运动有关(舒良树,2006;Liang X Q et al., 2005)。凡口矿床成矿作用发生于褶皱作用以及 NWW 向断裂之后,矿体受 NNE 向断裂控制,断裂切穿 NWW 向断裂与褶皱,因此,成矿时代应在印支运动之后,至少在晚二叠世之后。华南 NE—NNE 向断裂的活动主要与太平洋板块的活动有关,

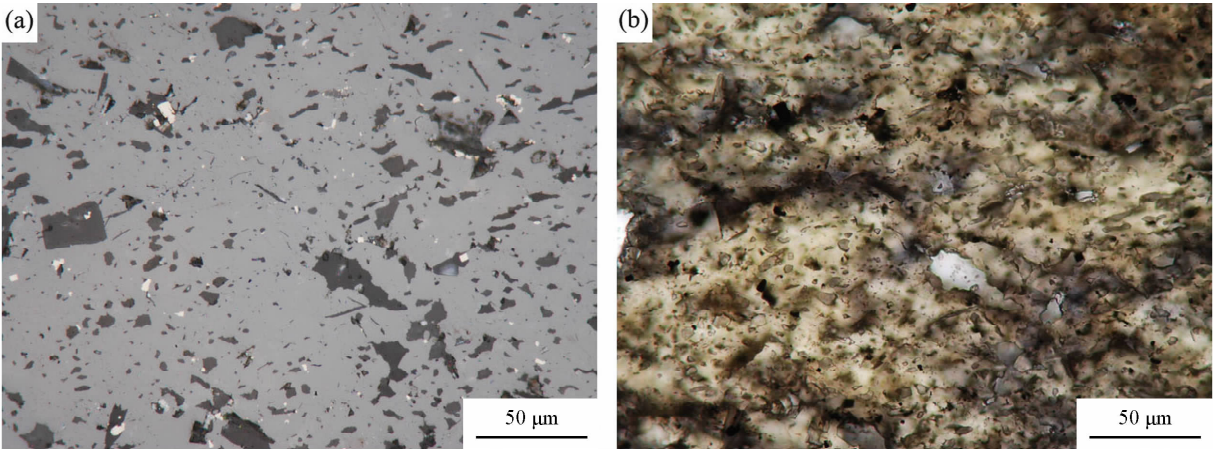


图 7 广东凡口铅锌矿床闪锌矿核部的石英和白云母碎屑

Fig. 7 The detrital muscovite and quartz in the core of sphalerite in Fankou deposit, Guangdong

(a)—闪锌矿核部,亮黄色为黄铁矿,深色为白云石、石英、白云母,其中自形菱面体为白云石、他形为石英,长板状为白云母,反射光;(b)—同(a),透射光

(a)—The core of sphalerite, the pyrite is bright yellow and the dolomite, quartz, muscovite are dark. reflected light; (b)—the same image in the transmitted light

如吴川-四会断裂,其右行活动主要发生于燕山期。凡口的 NNE 向控矿断裂为一组高角度逆冲走滑断层,右行,属于华南 NE—NNE 断裂的次级断裂活动。

粤北地区的含煤沉积层主要是二叠纪和侏罗纪, MVT 铅锌矿床的形成与生烃层的发育密切相关,常分布于煤层盆地或油气盆地附近。凡口矿区东南侧的麻塘煤矿属晚二叠世龙潭组煤系,分布于凡口向斜核部,可能成为 MVT 矿床的生烃层或生烃岩。生烃岩经轻度变质产生含油气卤水,卤水的运移导致了铅锌矿的形成。正如新疆塔西南地区铅锌矿的研究成果(祝新友等,2010),生烃层为早侏罗世,油气的运移时代即成矿时代为中新世,二者时间相距约 10Ma。若依此推算,以二叠系含煤沉积作为粤北地区的生烃层,则生烃层变质、形成油气并运移、铅锌矿成矿的年代应该在中生代或更晚。

红层盆地也是 MVT 铅锌矿化集中区相伴的重要现象,世界主要铅锌矿化集中区均发育陆相红层盆地,其中还常发育有砂岩型铜矿,包括川滇黔地区(柳贺昌,1999)、湘西地区均发育白垩纪红层盆地,新疆塔西南地区发育新生代盆地(祝新友等,2010)。喜马拉雅—阿尔卑斯一线发育大量的 MVT 和砂岩型铅锌矿,这一带也发育大规模的第三纪红层盆地;而北美 Missouri 和 Appalachia 地区铅锌矿均分布于白垩纪红层盆地的南部和东部(Gosnold,1999),铅锌矿分布于白云石化的前锋地带(Happer et al., 2007)。MVT 铅锌矿往往发育于红层盆地边缘地区的现象,暗示着 MVT 的成矿时代可能正是陆相红层盆地的发展时期。广东凡口、广西泗顶、湘西、鄂西北等铅锌矿(带)均分布于华南晚白垩世红层盆地的南、西侧边缘,其成矿时代可能与 K₂ 红层盆地的发展相对应。

粤北地区广泛发育辉绿岩脉,主要铀矿区出现的辉绿岩均呈 NWW 向(王学成等,1991)。辉绿岩侵入时代分为 139~143Ma、103~110Ma 和 88~93Ma 3 组(K-Ar 和 ⁴⁰Ar-³⁹Ar,李献华等,1997),其中,下庄铀矿田辉绿岩 106.6~110.4Ma。铀矿体呈脉状穿插、交代辉绿岩,其中下庄矿床铀成矿年龄 76Ma(U-Pb 法,王正其,2007a,2007b)、93.5±1.2 Ma(沥青铀矿 LA-ICP-MS,邹东风等,2011),302 铀矿(产于诸广山岩体中)成矿年龄 70Ma(沥青铀矿的 Sm-Nd 和 U-Pb)(黄国龙等,2010)。凡口矿床上部矿段局部发育铀矿化,据勘探报告,铀矿化分布于铅锌矿体及旁侧的不规则状粗粒方解石脉中,

含铀矿物为沥青铀矿,细粒分布于方解石脉的脉壁。这类方解石脉穿插黄铁铅锌矿体,略晚于铅锌矿体。

凡口矿区辉绿岩的地质地球化学特点与下庄铀矿区的辉绿岩相似,早于铀矿化,其锆石 SHRIMP 年龄值 122~90Ma 相对较为可信。另外,凡口矿床蚀变辉绿岩中构造面应力矿物绿泥石膜 K-Ar 年龄为 97Ma(邱小平,1991)。由于辉绿岩侵入于铅锌矿化作用的晚期,与铅锌矿体大体同期或略晚,因此,凡口矿床的成矿作用可能持续了较长的时间,但主成矿期应在 122~90Ma,相当于早白垩世晚期。

4.3 中生代区域盆地卤水活动与凡口矿床的形成

凡口铅锌矿床的成因尚存在争议,通过多方面的研究显示,凡口矿床是具有 MVT 特征的层控中低温热液矿床,其含矿地层层序、矿体特点、矿石及矿物组合、稳定同位素和成矿流体等方面均可与典型 MVT 矿床做全面对比,成矿作用主要与区域盆地卤水作用有关(韩英等,2011)。

盆地卤水的区域性活动一方面表现为含矿层序底部——中下泥盆统桂头群紫色碎屑岩的不均匀褪色,另一方面表现为上部碳酸盐岩的广泛白云石化。至晚白垩世, MVT 矿床成矿作用的 3 个重要要素在凡口以及华南地区均存在:①含矿地层——由泥盆系碎屑岩-碳酸盐岩组成的海进序列;②生烃层——晚二叠世龙潭含煤页岩(冯少南等,1987);③红层——晚白垩世红层盆地,局部含石膏(张显球,1992),在湘中衡阳白垩纪红层盆地中含砂岩型铜铀矿(邓湘伟等,2008)。由此构建出华南地区及凡口层控铅锌矿床演化与成矿模型,即:泥盆纪开始,华南地区发生大规模的自 SW 向 NE 的海侵,于早古生代变质细碎屑岩基底之上不整合沉积了泥盆系厚层碎屑岩—碳酸盐岩的海进系列。其中,以跳马涧组(桂头群)为代表的紫色砂砾岩具有较高的孔隙度和渗透率。之后的海退作用,在二叠系形成大规模广泛的含煤页岩沉积,构成了华南重要的生烃层。

早白垩世开始,华南进入板内拉张环境演化阶段,表现为广泛的中基性脉岩的侵入(李献华等,1997)。随着东部武夷山的隆起,阻断了太平洋暖湿气流的西进,华南地区进入了陆相红层盆地发育阶段(舒良树等,2006),形成了包括丹霞、南雄、衡阳等规模巨大的华南白垩纪红层盆地,为盆地卤水的形成创造了条件。盆地卤水沿泥盆系底部紫色砂岩迁移,在构造条件有利的上部碳酸盐岩中,与来自生烃层富含硫的还原性卤水混合,导致铅锌的沉淀成矿。

5 结论

广东凡口铅锌矿床铅锌矿化形成持续时间较长,辉绿岩形成于铅锌矿化的晚期,辉绿岩之后矿化仍在继续,铅锌矿成矿年代与辉绿岩大体相当。经锆石 SHRIMP 年龄测定,辉绿岩侵位年龄为 122~90Ma,相当于早白垩世晚期,也代表了凡口铅锌矿床的成矿年龄。成矿作用与这一时期华南地区红层盆地的发育及与之相关的盆地卤水活动有关,来自红层盆地的卤水与来自生烃层的卤水混合,在中上泥盆统碳酸盐岩的有利部位形成铅锌矿床。

凡口矿床的成矿年龄数据对桂北、湘西、川滇黔等地铅锌矿的成矿时代研究具有指导意义,这些铅锌矿带均发育于白垩纪红层盆地附近。

注 释

- ① 广东省地质局区域地质调查大队. 1982. 中华人民共和国区域地质调查报告(再修订版)(1/200000,韶关幅,G-49-30).
- ② 中金岭南凡口铅锌矿. 2006. 广东凡口铅锌矿区地形地质图(1/10000).

参 考 文 献

陈学明,邓军,翟裕生. 1999. 凡口铅锌矿床地球化学特征及成矿作用分析. 地质地球化学,27(1):6~14.

陈学明,邓军,翟裕生. 1998. 凡口铅锌矿床海底热泉喷溢成矿的物理化学环境. 矿床地质,17(3):240~246.

邓军,陈学明,杨立强,王建平. 2000. 兰井志粤北凡口超大型铅锌矿床矿化流体喷溢中心的确定. 岩石学报,16(4):528~530.

邓湘伟,戴雪灵,黄满湘. 2008. 柏坊铜矿成矿规律及成矿模式探讨. 华南地质与矿产,(4):22~25.

冯少南,林甲兴. 1987. 论华南地区二叠纪成煤期. 地质通报,(1):67~74.

韩英,王京彬,祝新友,郭宁宁,李顺庭,王艳丽. 2011. 广东凡口铅锌矿碳、氧同位素地球化学特征及其地质意义. 地质与勘探,47(4):642~648.

侯贵廷,刘玉琳,李江海,金爱文. 2005. 关于基性岩墙群的 U-Pb SHRIMP 地质年代学的探讨——以鲁西莱芜辉绿岩岩墙为例. 岩石矿物学杂志,24(3):179~185.

黄国龙,尹征平,凌洪飞,邓平,朱捌,沈渭洲. 2010. 粤北地区 302 矿床沥青铀矿的形成时代、地球化学特征及其成因研究. 矿床地质,29(2):352~360.

蒋映德,邱华宁,肖慧娟. 2006. 闪锌矿流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 法定年探讨——以广东凡口铅锌矿为例. 岩石学报,22(10):2425~2430.

蒋映德,邱华宁,云建兵,王强. 2007. 闪锌矿⁴⁰Ar-³⁹Ar 真空击碎与阶段加热定年技术. 地球化学,36(5):457~466.

赖应钱. 1988. 凡口铅-锌矿床的成因. 地质论评,34(3):222~230.

李献华,李武显,李正祥. 1997. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报,52(9):981~991.

柳贺昌,林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究,昆明:云南大学出版社,1~468.

邱华宁,戴撞谟. 1989. ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法定年测定矿物流体包裹体年龄. 科学通报,34(9):687~689.

邱华宁. 1999. 流体包裹体⁴⁰Ar-³⁹Ar 计时技术及其矿床定年应用. 矿物岩石地球化学通报,18(2):71~78.

邱小平. 1991. 广东凡口铅锌矿床成矿构造动力研究. 中国地质科学院院报,23:57~72.

舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带. 高校地质学报,12(4):418~431.

舒良树,周新民,邓平,余心起. 2006. 南岭构造带的基本地质特征. 地质论评,52(2):251~265.

宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评,48(增刊):26~30.

王学成,章郑桐,张祖还. 1991. 暗色岩脉与铀成矿关系研究. 矿床地质,10(4):360~270.

王正其,李子颖,张国玉,吴烈勤,孙晔. 2007a. 下庄中洞地区白垩纪基性脉岩地球化学特征及其源区性质. 铀矿地质,23(4):218~225.

王正其,吴烈勤,张国玉. 2007b. 粤北中洞地区“交点型”铀矿成矿控制因素研究. 中国核科技报告,157~177.

翟丽娜,蔡锦辉,刘慎波. 2009. 广东凡口铅锌矿床成矿地质特征及资源预测. 华南地质与矿产,(2):37~41.

张术根,周建普,黄满湘,樊钟衡. 2002. 广东凡口铅锌(银)矿床成矿流体来源研究. 矿产与地质,16(4):199~203.

张术根,丁存根,李明高,刘慎波. 2009. 凡口铅锌矿区闪锌矿的成因矿物学特征研究. 岩石矿物学杂志,28(4):364~374.

张显球. 1992. 丹霞盆地白至系的划分与对比. 地层学杂志,16(2):81~95.

赵一鸣,毕承思. 2000. 宁乡式沉积铁矿床的时空分布和演化. 矿床地质,19(4):350~362.

郑谋德. 1997. 丹霞伸展构造及其对找煤的意义. 中国煤田地质,9(1):8~29.

祝新友,王京彬,刘增仁,方同辉. 2010. 新疆乌拉根铅锌矿床地质特征与成因. 地质学报,84(5):694~702.

邹东风,李方林,张爽,黄彬,宗克清. 2011. 粤北下庄 335 矿床成矿时代的厘定——来自 LA-ICP-MS 沥青铀矿 U-Pb 年龄的制约. 矿床地质,30(5):912~922.

Brannon J C, Podolsk F A, Mclmans R K. 1992. Alleghenian age of upper Mississippi valley zinc-lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite. Nature, 356:509~511.

Gosnold D W. 1999. Stratabound geothermal Resources in North Dakota and South Dakota. Natural Resources Research, 8(3):177~192.

Happer D, Borrok D M. 2007. Dolomite fronts and associated zinc-lead mineralization, USA. Economic Geology, 102: 1345~1352.

Liang XQ, Li XH. 2005. Late Permian to Middle Triassic sedimentary records in Shiwandashan Basin: implication for the Indosinian Yunkai Orogenic Belt, South China. Sediment. Geol, 177: 297~320.

Nakai S, Halliday A N, Kesler S E. 1990. Rb-Sr dating of

sphalerites from Tennessee and the genesis of Mississippi valley type ore deposits. *Nature*, 346:354~357.

Nakai S, Halliday A N, Kesler S E. 1993. Rb-Sr dating of sphalerites from Mississippi Valley-type (MVT) ore deposits. *Geochimical Cosmochimica Acta*, 57(2):417~427.

Qiu H N, 1996. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of the quartz samples from two mineral deposits in western Yunan (SW China) by crushing in vacuum. *Chemical Geology*, 127:211~222.

Shelton K L, Gregg J M, Johnson A W. 2009. Replacement dolomites and ore sulfides as recorders of multiple fluids and fluid sources in the southeast Missouri mississippi valley-type district: Halogen-⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-^δ¹⁸O-^δ³⁴S systematics in the Bonneterre dolomite. *Economic Geology*, 104: 733~748.

Shepherd T J, Darbyshire D P F. 1981. Fluid inclusion Rb-Sr isochrones for dating mineral deposits. *Nature*, 290, 578~579.

Metallogenica Age of Mississippi Valley Type Pb-Zn Deposit in Fankou, Guangdong: Evidence from SHRIMP U-Pb Zircon Dating of Diabase

ZHU Xinyou^{1,2)}, WANG Jingbin^{1,2)}, LIU Shengbo³⁾, WANG Yanli²⁾,
HAN Ying⁴⁾, ZHEN Shimin⁵⁾, GUO Ningning⁴⁾

1) *Beijing Institute of Geology and Mineral Resources, Beijing, 100012;* 2) *China Non-Ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing, 100012;* 3) *Fankou Pb-Zn Mine Attached to Zhongjinlingnan Co., Ltd., Shaoguan, Guangdong, 521323;* 4) *Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093;* 5) *China University of Geosciences (Beijing), Beijing,100083*

Abstract

The Fankou MVT-type lead-zinc deposit located in northern Guangdong province is one of the largest Zn-Pb deposits in China, with a proven reserves of up to 10 million tons. It occurs in dolomitized limestone in the upper part of the Devonian transgressive sequence as irregular lead-zince orebodies, which are controlled by the NNE-trending faults and cut by NWW or NNW-trending diabase veins. Diabases close to ore bodies are carbonatized and clayized. Diabases cut through both Zn-Pb ore bodies and disseminated Zn-Pb veinlets, indicating the diabase formed later than mineralization. The fact that the ore-forming continued a long term and the diabase intruded at the late period of the ore-forming support that the diabase and the lead-zinc ore formed at almost the same period. The SHRIMP U-Pb zircon ages of the diabase are 2213~957 Ma, 341~216 Ma, 138~127 Ma and 122~90 Ma. The first two groups of the ages represent the captured zircons. Comparing the geological characteristic and evolution, ages of uranium deposit and diabases, we can infer that the deposit formed at 122~90Ma (Cretaceous Period) in the extensional tectonic environment corresponding to the formation of large scale red bed basin. Thus, the ore-forming model of the Fankou deposit is established as fallows: since early Cretaceous, red bed basins started to develop within the South China area due to uplift of Wuyi mountains which held back the moisture air from Pacific ocean, with the lead-zinc deposits distributed mainly around the margin of the red bed basins, and mixing of brines from the red bed basins and the sulfur-rich reductive brines from the hydrocarbon layer resulted in the formation of the Zn-Pb deposits. .

Key words: Mississippi-valley type; lead-zinc deposit; red bed basin; ore-forming age; diabase