

粤西河台金矿锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义

翟伟¹⁾, 李兆麟¹⁾, 孙晓明¹⁾, 黄栋林²⁾, 梁金龙¹⁾, 苗来成³⁾

1) 中山大学地球科学系, 广州, 510275; 2) 广东高要河台金矿, 高要, 526100

3) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

内容提要: 河台金矿是一个受剪切带控制的金矿床, 成矿作用分为韧性剪切变质成矿期的韧性剪切变质成矿作用阶段和热液蚀变成矿期的金硅化石英脉阶段、金硫化物阶段以及方铅矿闪锌矿碳酸盐脉阶段, 金的成矿主要发生在热液蚀变成矿期的金石英脉阶段和金硫化物阶段。SHRIMP 锆石 U-Pb 测年显示赋矿围岩混合岩中继承性锆石的核部和幔部年龄为 343.9~1732 Ma, 代表形成混合岩原岩的源区岩石的年龄; 继承性锆石边部和混合岩化变质作用中新生锆石的年龄平均值为 239.6 ± 3.9 Ma, 属印支期, 为混合岩化变质作用的年龄, 这一年龄与印支期印支板块与扬子板块、扬子板块与华北板块的碰撞时代相一致, 证实在中国华南存在印支期的混合岩化变质作用。韧性剪切变质成矿作用的年龄小于混合岩化变质作用的年龄 (239.6 ± 3.9 Ma); 富硫化物含金石英脉中热液锆石普通铅含量高, 为 0.65%~2.27%, Th/U 值变化范围很小, 为 0.306~0.557, 其年龄为 152.5 ± 3.1 Ma, 属燕山期, 代表河台金矿主成矿期年龄。

关键词: 河台金矿; 混合岩; 含金石英脉; SHRIMP 锆石年龄; 印支期; 燕山期

河台金矿产于粤西云开隆起区, 是中国华南地区一个典型的与剪切带有关的大型金矿床。自该矿床发现以来许多学者对其成因进行了研究, 提出了不同的成因认识。王鹤年等(1989, 1992)认为成矿流体早期主要为变质水, 岩浆热液使金局部富集, 后期有天水的加入; 李兆麟等(2001)认为成矿作用与变质深熔作用有关, 成矿流体具流体—熔体的性质; 周永章(1994)、周永章等(1995)认为河台金矿床成矿流体为变质水与天水的混合流体; 广东省地质科学研究所^①及符力奋(1989)认为河台金矿床是与燕山期伍村花岗岩有关的岩浆热液矿床, 并有大气降水的叠加而富集。

成矿地质年代学的研究对确定成矿作用与区域构造作用、变质作用及岩浆作用的关系, 研究成矿物质、成矿流体的来源以及矿床成因都具有重要的意义。对于河台金矿床成矿时代问题, 许多学者用各种方法进行了研究, 如³⁹Ar-⁴⁰Ar 法(富云莲等, 1991)、热爆裂石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法(陈好寿等, 1991)、Pb-Pb 法(张志兰等, 1988; 符力奋, 1989)、石英全溶 Rb-Sr 等时线法(翟伟等, 2004)、单颗粒锆石

U-Pb 法(翟伟等, 2005)等。由于以上方法存在各自的不足之处, 因而测得的年龄变化很大, 为 122~174 Ma, 对河台金矿床的成矿时代仍然无法取得一致认识。同时对华南地区印支期构造运动与岩浆作用、变质作用的演化特征也存在不同的认识。本文用高精度的 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年法对河台金矿床赋矿围岩混合岩及含金石英脉中的热液锆石进行了年龄测定, 并对其在华南地壳演化中的意义与成矿时代进行了详细讨论。

1 成矿地质背景与矿床地质特征

河台金矿产于华南造山带云开隆起区 NE 向广宁—罗定断裂带东北端与 NNE 向的吴川—四会断裂带的交汇部位(图1)。由高村、云西、河海、太平顶、双保、尚台等矿床组成。矿床严格受河台韧性剪切带控制, 矿床产于韧性剪切带的次一级构造糜棱岩带或构造裂隙中。赋矿地层为震旦系乐昌群, 为一套整体无序的变质岩组成, 岩性以石英绢云母片岩、二云母石英片岩、变粒岩、片麻岩、混合岩、混合花岗岩等为主, 局部遭受了强烈的韧性剪切变质作用形成糜

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40373027, 49873018)和广东省自然科学基金资助项目(编号 001255)的成果。

收稿日期: 2005-11-29; 改回日期: 2006-05-24; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 翟伟, 男, 1965 年生。博士, 高级工程师, 从事矿床地球化学和流体地球化学的研究工作。通讯地址: 510275, 广州市新港西路 135 号, 中山大学地球科学系; Email: eeszw@zsu.edu.cn。

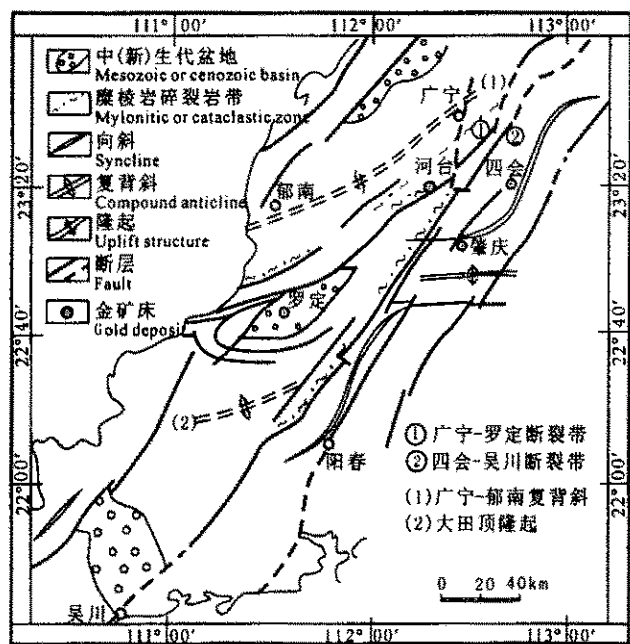


图 1 河台金矿床构造位置图

Fig. 1 Tectonic location map of Hetai gold deposit

棱岩系列的岩石,河台金矿床就产于糜棱岩系列的岩石中。矿区西部出露海西期中粒黑云母二长花岗岩、黑云母斜长花岗岩;矿区东北部被燕山期的伍村巨斑状黑云母花岗岩侵入;矿区南部中上奥陶统三尖群千枚状粉砂质页岩、变质石英粉砂岩与赋矿地层乐昌群呈断层接触(图 2)。

河台金矿成矿作用分为两期四阶段,韧性剪切变质成矿期的韧性剪切变质成矿作用阶段和热液蚀变成矿期的金硅化石英脉阶段、金硫化物阶段以及方铅矿闪锌矿碳酸盐脉阶段。形成的矿石类型有蚀变糜棱岩型和富硫化物含金石英脉型二类。组成矿石的金属矿物主要有自然金、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等,并有少量的方铅矿、闪锌矿等,非金属矿物有石英、菱铁矿、方解石、绢云母等。围岩蚀变作用以硅化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化等为主。根据金及伴生微量元素地球化学特征以及金矿体在剪切带内的分布特征分析,韧性剪切变质成矿阶段最多只能产生金的矿化,金的成矿作用主要发生在热液蚀变成矿期的金硅化石英脉阶段和金硫化物阶段^①。Zhang 等(2001)也认为韧性剪切变质作用阶段并不产生金的成矿,金成矿产生于完全脆性的环境。因此河台金矿床富硫化物含金石英脉的成矿年龄基本上可以代表河台金矿床的成矿时代。

2 样品特征及分析测试方法

本文分别对河台金矿赋矿围岩震旦系乐昌群的混合岩和富硫化物的含金石英脉矿体进行了 SHRIMP 锆石测年。用于锆石测年的混合岩样品(编号 TH06-1,重约 3 kg)采自 0 m 中段 6 号勘探线,距高村矿床(11 号矿体)南约 150 m(图 2)。岩性为花岗质混合岩,主要有斜长石(35%)、微斜长石(30%)、石英(25%)、黑云母(5%)、白云母(5%)等矿物组成,斜长石和微斜长石明显分为两个粒级,大者 4~5 mm,小者 <1 mm;主要副矿物有独居石、锆石、磷灰石等。

含金石英脉样品(编号 C02-5,重约 10 kg,分选出约 100 粒锆石)采自河台金矿区河海矿床(18 号矿体)(图 2)。矿床由一条含金石英脉组成,脉长 720 m,最厚 5.7 m,最高含金品位 43.29×10^{-6} ,主要由石英组成,呈乳白色,强油脂光泽;主要的金属矿物有自然金、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿以及微量的方铅矿和闪锌矿等组成,含量可达 5%~10%,并含有副矿物磷灰石和独居石等。河海金矿床为河台金矿区唯一全部由含金石英脉型矿石组成的矿体。

将所采样品用水刷洗后再用超声波清洗仪清洗 12 h,以清除采样过程中粘连的砂土,后在温度 < 100℃ 下烘干,单矿物锆石分离由河北省廊坊区域地质调查研究所完成,单矿物锆石样品靶(编号 G886)由北京离子探针中心完成,锆石阴极发光照像在中国科学院广州地球化学研究所的电子探针上完成,锆石 U-Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成,详细的分析原理和流程参见 Williams 等(1987)和 Compston 等(1992)的相关文献,仪器工作条件和分析方法详见刘敦一等(2004)和简平等(2003)的相关文献。样品与标准锆石 TEM(417 Ma)交替测定,每测定三个样品点,测定一次标准锆石。样品测试过程中尽量选择阴极发光生长环带明显、无包裹体、无裂纹的锆石晶体或避开锆石中的裂纹和包裹体。数据处理采用 Ludwig 的 Isoplot 3.0 软件,普通铅根据实测 ^{204}Pb 校正,年龄值选用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,单个数据点误差均为 1σ ,加权平均值误差为 2σ 。

3 分析结果

3.1 混合岩

混合岩中的锆石呈自形细长柱状、柱状或短柱状晶体,晶体形态多样,长约 80~300 μm ,晶体中中

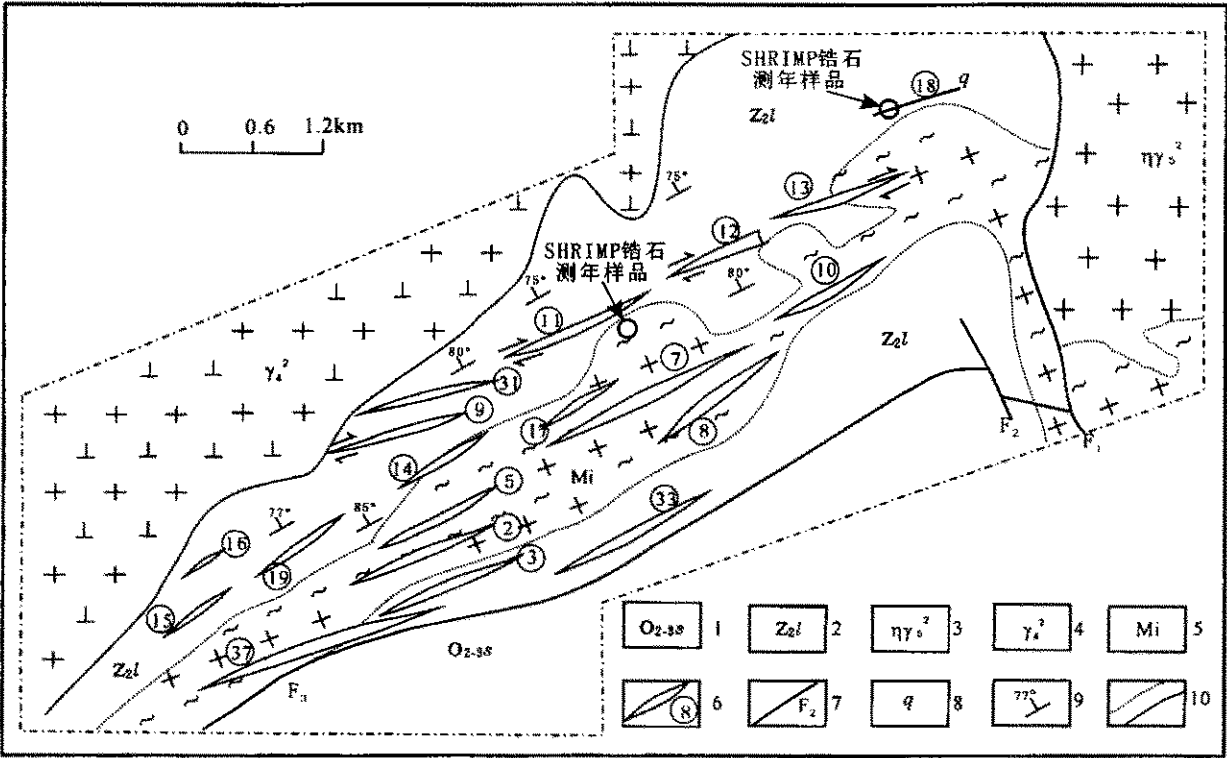


图 2 河台金矿床矿区地质及采样位置图(据广东省地矿局 719 地质大队[®])

Fig. 2 Geologic map of Hetai gold field (after No. 719 Geological Team of Geological and Mineral Resources Bureau of Guangdong Province[®])

1—中—上奥陶统三尖群千枚状粉砂质页岩、变质石英粉砂岩;2—震旦系乐昌群云母片岩、石英片岩;3—燕山期伍村序列巨斑状黑云母二长花岗岩;4—海西期云楼岗序列黑云母斜长花岗岩;5—震旦系乐昌群混合岩、混合片麻岩;6—韧性剪切带及金矿床编号;7—断层;8—含金石英脉;9—地层产状;10—地质界线

1—Phyllitic silty shale, metamorphic quartz siltstone of Middle—Upper Ordovician Sanjianqun Group;2—mica schists, quartz schists of Sinian Lechang Group;3—macroporphyritic biotite monzonitic granite of Yanshanian Wucun Series;4—biotite plagiogranite of Hercynian Yunlougang Series;5—migmatite, migmatitic gneiss of Sinian Lechang Group;6—the number of ductile shear zone and gold deposits;7—fault;8—gold-bearing quartz vein;9—strike-dip of stratum;10—geologic boundary

柱状、圆形或椭圆形固体包裹体发育。阴极发光图片显示锆石的生长环带发育,部分锆石发育自形晶的继承性锆石或混圆状的继承性碎屑锆石(图3)。根据锆石的阴极发光特征,可分为三类:Ⅰ.发育混圆状的核部、幔部及边部,或边部不发育(图3A—D);Ⅱ.发育具明显阴极发光生长环带的核部或混圆状的核部及边部(图3E—H);Ⅲ.不发育核幔构造,但具明显阴极发光生长环带的新生结晶锆石(图3I—J)。

SHRIMP 锆石U-Pb 年龄分析结果如表1。对于Ⅰ、Ⅱ类锆石的核部和幔部,其Th 含量相对较高,为 $53 \times 10^{-6} \sim 850 \times 10^{-6}$,U 含量为 $403 \times 10^{-6} \sim 2994 \times 10^{-6}$,Th/U 值普遍较高且变化范围大,为0.115~0.887,10 个测点的年龄为343.9~1732 Ma;其中一个锆石的核部年龄为1732 Ma,幔部年龄为1113 Ma。此两类锆石边部Th 的含量很低,大部分在 $5 \times$

$10^{-6} \sim 33 \times 10^{-6}$,U 含量高,为 $2549 \times 10^{-6} \sim 5497 \times 10^{-6}$,Th/U 值为0.002~0.084,6 个测点中除一个测点的普通铅含量很高($^{206}\text{Pb}_c = 1.8\%$)的年龄偏低为 $209 \pm 6.0 \text{ Ma}$,其余5 个测点的年龄为235.2~236.5 Ma。第Ⅲ类锆石的Th 含量为 94×10^{-6} ,U 含量为 $762 \times 10^{-6} \sim 1702 \times 10^{-6}$,Th/U 值为0.092~0.788,8 个测点的年龄在225.5~280.3 Ma,其中一个年龄值 $254.8 \pm 7.1 \text{ Ma}$ 为不一致年龄,此类锆石的年龄与测点的位置无关。

第Ⅲ类锆石的年龄与第Ⅰ、Ⅱ类锆石边部的年龄一致,除去由高普通铅引起的较低的年龄值和不一致年龄外,12 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值在 $225.5 \pm 6.3 \sim 259.9 \pm 7.3 \text{ Ma}$ 之间,在谐和曲线图中成群分布,加权平均值为 $239.6 \pm 3.9 \text{ Ma}$ (图4)。此年龄

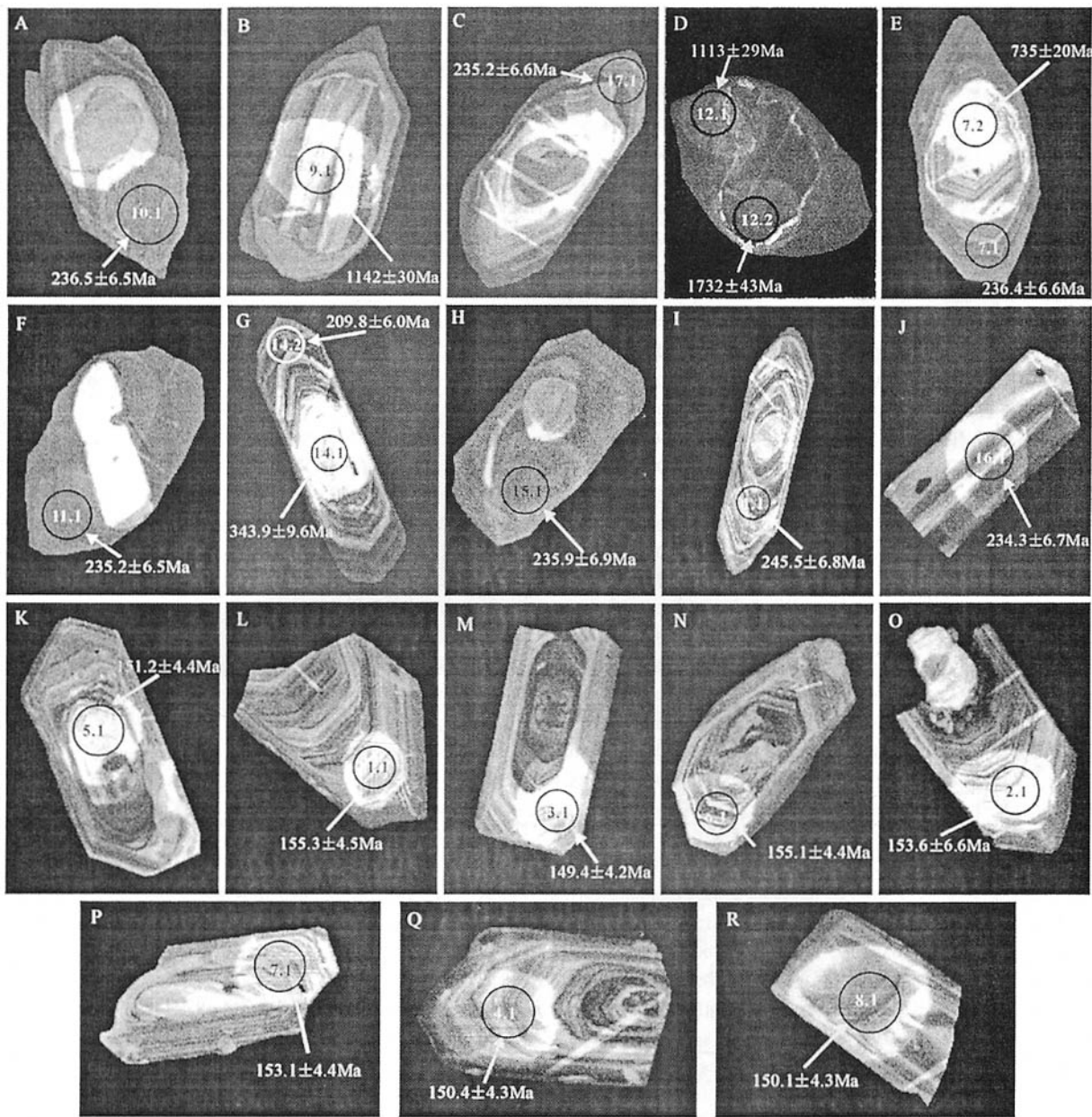


图 3 混合岩中锆石(A—J)及含金石英脉中锆石(K—R)阴极发光图像
(图中○圈出发亮位置为测点位置,○直径为 30 μm)

Fig. 3 CL photos of zircons (A—J) from migmatite and zircons (K—R) from gold-bearing quartz vein
(the light position marked with circle is the analysis position, the diameter of circle is 30 μm)

值代表震旦系乐昌群遭受区域变质混合岩化作用的年龄。

3.2 富硫化物含金石英脉

富硫化物含金石英脉中的锆石呈自形长柱状,淡黄色,30~150 μm,晶体中发育包裹体,并有气液相包裹体。阴极发光图像显示锆石的生长环带发育(图3K—R),不发育继承性锆石。SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分析结果如表 1。锆石 Th 含量为 209×10^{-6}

$\sim 858 \times 10^{-6}$,U 含量为 $607 \times 10^{-6} \sim 1540 \times 10^{-6}$,Th/U 值为 0.306~0.557,变化范围很小,说明其形成于 U、Th 含量均一的介质条件。其年龄与锆石阴极发光生长环带的核部、幔部及边部无关(图 3K—R),通过 8 粒锆石的 8 个测点分析,得出了一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,为 149.4~155.3 Ma,在一致曲线图中成群分布,加权平均值为 $152.5 \pm 3.1 \text{ Ma}$ (图 5),为含金石英脉的形成年龄。

表 1 河台金矿混合岩中锆石和含金石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果表

Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from migmatite and gold-bearing quartz vein in Hetai gold field															
岩性	点号	测点部位	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{206}\text{Pb}_\text{c}$ (%)	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm\%$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	$\pm\%$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	$\pm\%$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ (Ma)	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$ (Ma)
混合岩	THQ6-1.1	Ⅲ	1702	157	0.092	0.14	56.8	0.05040	1.1	0.2698	3.0	0.0388	2.8	245.5 $\pm$ 6.8	235 $\pm$ 11
	THQ6-2.1	Ⅱ/核	403	173	0.430	0.10	80.1	0.08604	0.75	2.745	3.0	0.2314	2.9	1342 $\pm$ 35	1332 $\pm$ 40
	THQ6-3.1	I/核	550	488	0.887	0.21	41.5	0.0577	2.1	0.699	3.5	0.0878	2.8	542 $\pm$ 15	523 $\pm$ 16
	THQ6-4.1	Ⅲ	2151	440	0.205	0.23	70.8	0.05017	1.1	0.2643	3.0	0.0382	2.8	241.7 $\pm$ 6.7	228.9 $\pm$ 7.9
	THQ6-5.1	Ⅲ	1214	136	0.112	0.24	46.5	0.05223	1.5	0.320	3.2	0.0444	2.8	280.3 $\pm$ 7.7	278 $\pm$ 16
	THQ6-6.1	Ⅲ	762	94	0.124	0.61	26.6	0.0506	2.5	0.281	3.8	0.0403	2.8	254.8 $\pm$ 7.1	251 $\pm$ 22
	THQ6-7.1	Ⅱ/边	3696	33	0.009	0.18	119	0.05046	1.1	0.2598	3.0	0.0373	2.8	236.4 $\pm$ 6.6	182 $\pm$ 98
	THQ6-7.2	Ⅱ/核	444	243	0.547	0.49	46.3	0.0670	1.5	1.117	3.2	0.1208	2.8	735 $\pm$ 20	880 $\pm$ 27
	THQ6-8.1	Ⅲ	567	179	0.315	0.61	20.2	0.0471	3.9	0.267	4.9	0.0411	2.9	259.9 $\pm$ 7.3	238 $\pm$ 14
	THQ6-9.1	Ⅱ/核	531	427	0.804	0.15	88.5	0.07572	0.74	2.023	2.9	0.1938	2.8	1142 $\pm$ 30	171 $\pm$ 39
	THQ6-10.1	I/边	2549	7	0.003	0.15	82.0	0.04977	1.1	0.2564	3.0	0.0374	2.8	236.5 $\pm$ 6.5	
	THQ6-11.1	I/边	3293	5	0.002	0.12	105	0.05055	0.79	0.2590	2.9	0.0372	2.8	235.2 $\pm$ 6.5	
	THQ6-12.1	I/幔	1921	284	0.148	0.03	311	0.11402	0.28	2.962	2.8	0.1884	2.8	1113 $\pm$ 29	1660 $\pm$ 48
	THQ6-12.2	I/核	2994	427	0.142	0.02	793	0.12138	0.17	5.16	2.8	0.3083	2.8	1732 $\pm$ 43	1717 $\pm$ 50
	THQ6-13.1	Ⅲ	895	234	0.261	0.21	30.2	0.05084	1.6	0.2746	3.2	0.0392	2.8	247.7 $\pm$ 6.9	232.7 $\pm$ 8.3
	THQ6-14.1	Ⅱ/核	374	106	0.284	0.57	17.7	0.0515	3.4	0.389	4.4	0.0548	2.9	343.9 $\pm$ 9.6	429 $\pm$ 20
	THQ6-14.2	Ⅱ/边	4751	400	0.084	1.81	138	0.0487	2.6	0.2219	3.9	0.03308	2.9	209.8 $\pm$ 6.0	221 $\pm$ 37
	THQ6-15.1	I/边	5497	15	0.003	0.06	176	0.04998	0.73	0.2568	3.1	0.0373	3.0	235.9 $\pm$ 6.9	167 $\pm$ 120
	THQ6-16.1	Ⅲ	698	550	0.788	0.73	22.4	0.0490	4.4	0.250	5.3	0.0370	2.9	234.3 $\pm$ 6.7	227.7 $\pm$ 8.5
	THQ6-17.1	Ⅱ/边	3185	51	0.016	0.14	102	0.04977	0.86	0.2550	3.0	0.0372	2.8	235.2 $\pm$ 6.6	176 $\pm$ 37
	THQ6-18.1	Ⅲ	1170	146	0.125	0.37	40.2	0.0569	2.0	0.312	3.5	0.0398	2.8	251.7 $\pm$ 7.0	312 $\pm$ 17
	THQ6-19.1	Ⅲ	1159	214	0.208	0.57	35.7	0.0492	2.7	0.2418	3.9	0.0356	2.8	225.5 $\pm$ 6.3	225 $\pm$ 15
THQ6-20.1	Ⅱ/核	956	346	0.362	0.29	80.8	0.06488	1.1	0.877	3.0	0.0980	2.8	603 $\pm$ 16	756 $\pm$ 25	
THQ6-21.1	Ⅱ/核	461	53	0.115	0.23	66.0	0.07622	1.3	1.746	3.1	0.1661	2.8	991 $\pm$ 26	959 $\pm$ 62	
THQ6-22.1	Ⅱ/核	896	850	0.949	0.12	129	0.07656	0.63	1.772	2.9	0.1679	2.8	1000 $\pm$ 26	1026 $\pm$ 29	
含金石英脉	C025-1.1		607	230	0.379	1.43	12.9	0.0474	9.7	0.159	10	0.02439	2.9	155.3 $\pm$ 4.5	152 $\pm$ 15
	C025-2.1		683	209	0.306	0.95	14.3	0.0496	4.8	0.1649	5.6	0.02412	2.9	153.6 $\pm$ 4.4	152.1 $\pm$ 9.8
	C025-3.1		1540	858	0.557	0.77	31.3	0.0476	4.1	0.1540	5.0	0.02345	2.8	149.4 $\pm$ 4.2	148.3 $\pm$ 5.9
	C025-4.1		1217	453	0.372	1.01	24.9	0.0460	3.3	0.1498	4.4	0.02360	2.9	150.4 $\pm$ 4.3	142.5 $\pm$ 7.3
	C025-5.1		439	219	0.500	2.27	9.16	0.0421	11	0.138	11	0.02373	2.9	151.2 $\pm$ 4.4	139 $\pm$ 11
	C025-6.1		631	312	0.495	0.75	13.3	0.0491	5.4	0.165	6.1	0.02435	2.9	155.1 $\pm$ 4.4	156.9 $\pm$ 6.9
	C025-7.1		1236	637	0.515	0.65	26.1	0.0487	4.8	0.1637	5.6	0.02439	2.9	155.3 $\pm$ 4.4	149.7 $\pm$ 5.3
	C025-8.1		920	445	0.484	1.44	18.9	0.0459	8.4	0.149	8.9	0.02356	2.9	150.1 $\pm$ 4.3	141 $\pm$ 11

注：Pb_c和 Pb* 分别为普通铅和放射性成因铅,误差为 1σ。I、Ⅱ、Ⅲ 代表混合岩中的三类锆石。

4 讨论

4.1 赋矿围岩混合岩的变质时代

河台金矿赋矿围岩为一套中深变质岩,对其时代还存在很大的争议。广东省地质矿产局 719 地质大队(1988)^⑨根据区域对比,认为其与粤西地区的云开群时代相当,将其划为震旦系乐昌群;广东省地质科学研究所(1989)^⑩和季明钧(1991)认为其原岩时代为晚奥陶世至志留纪的陆源碎屑岩,混合岩为断裂变质成因,形成时代为海西期;王鹤年等(1992)认为河台金矿床赋矿围岩为中、新元古代形成的碎屑岩类复理石建造夹中酸性到中基性的火山岩,其形成年代为 802~808 Ma,与粤西地区震旦系 C 组云开群特征一致,经历了加里东期的区域变质作用

与基底混合岩化作用;叶伯丹(1989)测得粤西信宜县合水片岩、变粒岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 487 Ma,也认为是加里东期区域变质作用的产物。

本文通过高精度的 SHRIMP 锆石测年方法,测得河台金矿区混合岩中第 I、Ⅱ 类锆石的核部和幔部的年龄为 343.9~1732 Ma,部分此类锆石的核部和幔部明显具有碎屑锆石的磨圆特征(图 3A—H),此年龄代表形成混合岩原岩的物源区岩石的年龄,最老的碎屑锆石的年龄为 1732 Ma,说明华南地区存在中元古代的结晶基底,以往的研究也证实了这一点(简平,1991;黄圭成等,2001)。

由第 I、Ⅱ 类锆石的重结晶边部和第 Ⅲ 类新生的结晶锆石测得的年龄为 239.6 $\pm$ 3.9 Ma,属印支期,代表河台金矿床的赋矿围岩乐昌群遭受混合岩

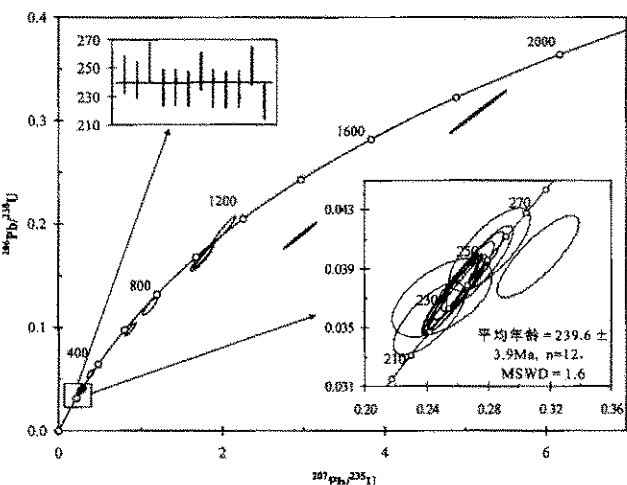


图 4 河台金矿混合岩锆石 U-Pb 谐和曲线图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircon from the migmatite of Hetai gold deposit

化变质作用的年龄。粤西广宁及河台地区大面积分布石洞—五和基底型混合岩,说明中国华南在印支期遭受了强烈的混合岩化变质作用。印支期是对中国大陆影响广泛而强烈的一次构造运动,扬子板块与华北板块碰撞拼合(220~240 Ma)(Li et al., 1993; 李曙光等, 1996; 刘敦一等, 2004),羌塘—中缅甸马苏(Sibumasu)板块与印支—华南板块发生碰撞拼合(258~243 Ma)(Carter et al., 2001),但一般认为三叠纪印支板块与扬子板块之间的碰撞可能没有强烈的变形作用,主要表现为隆升、海退和沉积盆地的掀斜,褶皱作用非常弱(郭祥福, 1998; Carter et al., 2001, 郭斌等, 2001),因此河台金矿区印支期 239.6±3.9 Ma 的混合岩化变质作用年龄,证实中国华南存在印支期的变质作用,这对认识印支运动对中国华南的构造作用、变质作用及岩浆作用具有十分重要的意义。陈多福等(1998)测得浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩中新生变质锆石的 SHRIMP 年龄为 252±5 Ma,也证实下扬子地区存在印支期的变质作用。此外最近用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测年还发现湖南存在印支期 239~244 Ma 的花岗岩(王岳军等, 2005)、福建武夷山 244±4 Ma 和海南 244±7 Ma 的正长岩(王强等, 2003; 谢才富等, 2005),说明印支运动在华南广泛存在。

4.2 富硫化物含金石英脉中锆石的成因

锆石是岩浆岩中广泛存在的副矿物,同时也可以形成于从绿片岩相到榴辉岩相变质作用的各个阶段(Dempster et al., 2004, 刘敦一, 2004),热液蚀变作

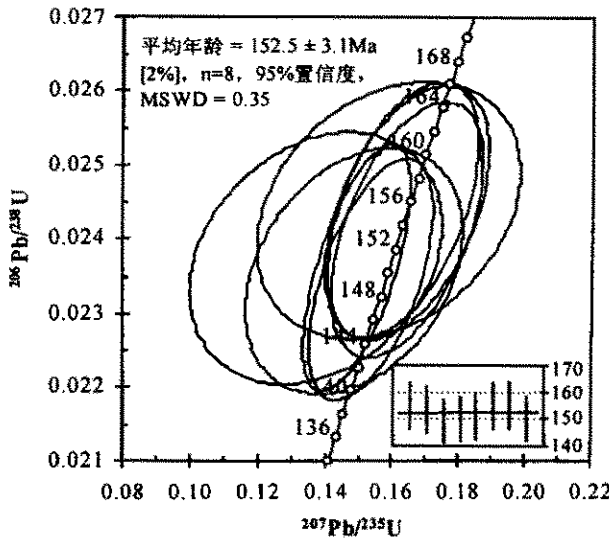


图 5 含金石英脉锆石 U-Pb 谐和曲线图

Fig. 5 U-Pb concordia diagram of zircon from gold-bearing quartz veins

用过程以及浅成低温热液矿脉、块状硫化物矿床中都有热液成因的锆石形成(Rubin et al., 1993; Dubinska et al., 2004)。Claoue-Long 等(1990)首次对加拿大 Abitibi 绿岩带含金石英脉中的热液锆石进行了 SHRIMP 测年,但 Corfu 等(1991)提出了反对意见,认为这些锆石是继承围岩中的锆石,并非热液成因的锆石。李俊建等(1996)、李惠民等(1997)对吉林夹皮沟金矿床和河北东平金矿床的热液锆石进行了 U-Pb 同位素稀释法测年;胡芳芳等(2004)测得山东乳山金矿含金石英脉中的热液锆石 SHRIMP 年龄为 117 Ma;Qi 等(2004)对阳山微细浸染型金矿含金石英脉中锆石的 SHRIMP 测年认为这些锆石来自围岩,并不存在热液锆石。因此对热液矿床中锆石进行测年的关键是如何将自生的热液锆石和围岩中的继承锆石区分开。

河台金矿含金石英脉中的热液锆石与围岩相比,其普通铅含量明显高,为 0.65%~2.27%,而混合岩中的锆石的普通铅含量普遍低于 0.73%(表 1)。这可能与其形成的环境有关,据微量元素 ICP-MS 分析,混合岩中铅的含量低,为 $4.2 \times 10^{-6} \sim 7.7 \times 10^{-6}$,虽然含金石英脉中方铅矿的含量很少,但铅的含量高,为 22.7×10^{-6} (8 个样品的平均值)^⑨,含金石英脉中普通铅含量高可能是由于热液中铅加入的结果。Watson 等(1997)和 Hoskin 等(2003)认为普通铅的含量高是热液成因锆石的鉴定特征。含金石英脉中锆石的 Th/U 值为 0.306~0.557,变化范

围很小,也说明其形成于 U、Th 含量均一的热液介质条件。

从混合岩中的锆石年龄与含金石英脉中的锆石的年龄对比,混合岩中第 I、II 类锆石的核部和幔部的年龄为 $343.9 \sim 1732$ Ma,最年轻的年龄为混合岩中的新生锆石和第 I、II 类锆石的边部年龄,为 $225.5 \sim 259.9$ Ma 之间,加权平均值为 239.6 ± 3.9 Ma,为印支期。含金石英脉中锆石晶体核部、幔部及边部年龄一致,为 $149.4 \sim 155.3$ Ma,加权平均值为 152.5 ± 3.1 Ma,形成于燕山期。二者明显不同,同时也排除了石英脉中锆石为继承围岩中锆石的可能,说明石英脉中的锆石为热液成因的自生锆石。

4.3 河台金矿成矿时代

许多学者对河台金矿的成矿时代进行了研究,张志兰等(1988)用 Pb-Pb 法测得高村矿床含金硅化岩的年龄为 171.0 Ma,硫化物的年龄为 150.0 Ma,认为成矿具多期多阶段的特征,最后一期矿化发生在燕山期;符力奋(1989)对河台金矿区双保矿床、太平顶矿床和高村矿床的硫化物进行 Pb-Pb 法测年,得到 $148 \sim 174$ Ma 年龄;富云莲等(1991)对河台金矿区高村和双保矿床千糜岩型矿石中的绢云母进行了 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 法测年,测得 141 ± 6 Ma 和 132 ± 2 Ma 两个年龄;陈好寿等(1991)用热爆裂法测得河台金矿区高村、云西、后迳三个矿床的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄分别为 122 ± 14 Ma、 129.6 ± 6.1 Ma、 129.3 ± 4.1 Ma;王鹤年等(1989,1992)认为加里东期的区域变质作用和基底混合岩化作用使金发生初步富集,韧性剪切成矿作用形成糜棱岩带浸染型金矿床,海西—印支期的岩浆热液叠加形成局部金富集的富矿体;翟伟等(2004,2005)用石英全溶法和单颗粒锆石 U-Pb 法测得河台金矿床高村 11 号矿体富硫化物含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 172 ± 2 Ma,含金石英脉中锆石的年龄为 492 ± 16 Ma,认为主成矿期为加里东期,并有燕山期的热液叠加。

以上各种测年方法取得的成矿年龄存在很大的差异,这也正是矿床学研究中的难题之一。由于热液矿床是多期次流体作用的结果,因此 Ar 丢失和如何能保证所选的样品中的流体包裹体形成于同一期是 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 法和流体包裹体 Rb-Sr 等时线法测年的关键,而传统的单颗粒锆石 U-Pb 同位素稀释法在选取分析锆石时往往是凭经验,很难保证所分析的锆石不具继承性残留锆石核,所以得出的年龄还存在很大的争论。

河台金矿的成矿作用分为韧性剪切变质成矿期的韧性剪切变质成矿作用阶段和热液蚀变成矿期的金硅化石英脉阶段、金硫化物阶段以及方铅矿闪锌矿碳酸盐脉阶段,韧性剪切变质成矿作用阶段只形成金的矿化,金硅化石英脉阶段和金硫化物阶段为主要成矿阶段。本文通过高精度的 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得河台金矿的赋矿围岩混合岩的变质年龄为 239.6 ± 3.9 Ma,为印支期,而韧性剪切变质成矿作用是发育在混合岩的基础上,因此其时代应晚于 239.6 ± 3.9 Ma。富硫化物含金石英脉中热液锆石的年龄为 152.5 ± 3.1 Ma,代表河台金矿主成矿期的年龄。此年龄也与河台金矿区燕山期伍村花岗岩 153.6 ± 2.6 Ma(翟伟等,2005)的年龄基本一致,也基本与华南侏罗纪大规模的 155 ± 5 Ma(李献华等,1997)的 S 型花岗岩年龄一致。根据 Groves(1993)、Groves 等(1998)对剪切带有关金矿床的研究,此类金矿床的成矿物质、成矿流体具多来源的特性,既有造山作用同期的岩浆流体或变质流体,又有来自深部的幔源流体,在浅部可能还有大气降水的加入。因此对河台金矿区的含金石英脉是否与伍村花岗岩之间存在成因上的因果关系,还需进行深入的研究工作。

5 结论

(1) 阴极发光照像及 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年显示河台金矿赋矿围岩混合岩中继承性锆石核部和幔部的年龄为 $343.9 \sim 1732$ Ma,代表形成混合岩原岩的源区岩石的年龄,继承性锆石边部和混合岩化变质作用中新生锆石的年龄平均值为 239.6 ± 3.9 Ma,属印支期,为混合岩化变质作用的年龄,这一年龄与印支期印支板块与扬子板块、扬子板块与华北板块的碰撞时代相一致,证实在中国华南存在印支期的混合岩化变质作用。

(2) 河台金矿韧性剪切变质成矿作用的年龄小于混合岩化变质作用的年龄(239.6 ± 3.9 Ma),富硫化物含金石英脉中热液锆石普通铅含量高,为 $0.65\% \sim 2.27\%$,Th/U 值变化范围很小,为 $0.306 \sim 0.557$,形成于 U、Th 含量均一的热液介质条件,其年龄为 152.5 ± 3.1 Ma,属燕山期,代表河台金矿主成矿期年龄。

致谢:野外工作中得到河台金矿地测科同行的大力支持与协助,北京离子探针中心宋彪研究员和陶华高级工程师对 SHRIMP 锆石测年工作给予了热情帮助和支持,Kenneth R. Ludwig 免费提供了

Isoplot 3.0 软件, 论文审稿人提出了宝贵的修改意见, 在此致以诚挚的感谢。

注 释

① 广东省地质科学研究所. 1989. 河台金矿区变质作用与金的成矿作用. 专题研究报告.
② 翟伟. 2003. 粤西河台金矿床地球化学与成因研究. 中山大学博士学位论文.
③ 广东省地质矿产局 719 地质大队. 1988. 1 : 5 万伍村幅地质图说明书.

参 考 文 献 / References

陈多福, 李献华, 潘晶铭, 董维权, 陈光谦, 陈先沛. 1998. 浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩变质新生锆石特征. 离子探针 (SHRIMP) U-Pb 年龄及地质意义. 矿物学报, 18 (4) : 396~400.
陈好寿, 李华芹. 1991. 云开隆起金矿带流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄. 矿床地质, 10 (4) : 333~341.
符力奋. 1989. 河台金矿区矿床成因探讨. 广东地质, 4 (4) : 35~43.
富云莲, 叶伯丹. 1991. 广东清远—高要金矿的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年. 岩石矿物学杂志, 10 (1) : 21~28.
郭斌, 揭育金, 卢清地. 2001. 关于福建印支运动性质的讨论. 福建地质, 20 (2) : 87~90.
郭福祥. 1998. 中国南方中新生代大地构造属性和南华造山带褶皱过程. 地质学报, 72 (1) : 22~33.
胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 万渝生, 刘敦一, 翟明国, 金成伟. 2004. 胶东乳山含金石英脉金矿的成矿年龄: 热液锆石 SHRIMP 法 U-Pb 测定. 科学通报, 49 (12) : 1191~1198.
黄圭成, 汪雄武, 杨世义, 陈龙清, 凌井生. 2001. 两广云开隆起区存在中—古元古代基底的年代学证据. 中国区域地质, 20 (2) : 194~199.
季明钧. 1991. 初论广东河台金矿区变质地层的时代. 广东地质, 6 (4) : 35~42.
简平. 1991. 云开隆起西南端混合岩、花岗岩同位素地质年龄研究. 广东地质, 6 (2) : 58~67.
简平, 刘敦一, 孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋演化的同位素年代学制约. 地质学报, 77 (2) : 217~228.
李惠民, 李怀坤, 陆松年, 杨春亮. 1997. 用脉脉中热液锆石的 U-Pb 定年确定东坪金矿床的成矿时代. 地球学报, 18 (Supp.) : 176~178.
李俊建, 沈保丰, 毛德宝, 李双保, 周慧芳, 程玉明. 1996. 吉林夹皮沟金矿床成矿时代的研究. 地质学报, 70 (4) : 335~340.
李曙光, Jagouz E, 肖益林, 葛宁洁, 陈移之. 1996. 大别山—苏鲁地体超高压变质年代学—I. Sm-Nd 体系. 中国科学 (D 辑), 26 (3) : 249~257.
李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 26 (2) : 14~31.
李兆麟, 翟伟, 黄栋林, 赵文霞, 杨荣勇, 全亚荣, 李文. 2001. 新疆乔尔山和粤西河台韧性剪切带金矿床中熔融包裹体的发现及矿床成因. 矿床地质, 20 (3) : 208~215.
刘敦一, 简平. 2004. 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质和退变质年龄——SHRIMP 测年的证据. 地质学报, 24 (3) : 337~342.
王鹤年, 张景荣, 戴爱华, 凌井生, 陈础庭, 季明均. 1989. 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究. 矿床地质, 8 (3) :

61~71.
王鹤年, 张守韵, 俞受璠, 陈骏, 等. 1992. 华夏地块韧性剪切带型金矿地质. 北京: 科学出版社, 51~90.
王强, 赵振华, 简平, 熊小林, 马金龙, 包志伟. 2003. 武夷山洋坊霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义. 科学通报, 48 (14) : 1582~1588.
王岳军, 范蔚茗, 梁新权, 彭头平, 石玉若. 2005. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示. 科学通报, 50 (12) : 1259~1265.
谢才富, 朱金初, 赵子杰, 丁式江, 付太安, 李志宏, 张业明, 徐德明. 2005. 三亚石榴霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 对海南岛海西—印支期构造演化的制约. 高校地质学报, 11 (1) : 47~57.
叶伯丹. 1989. 两广云开地区同位素地质年龄数据及其地质意义. 广东地质, 4 (3) : 39~65.
翟伟, 李兆麟, 黄栋林, 文拥军. 2004. 粤西河台金矿床富硫化物石英脉 Rb-Sr 等时线年龄讨论. 地球学报, 25 (2) : 243~247.
翟伟, 袁桂邦, 李兆麟, 黄栋林, 文拥军. 2005. 粤西河台金矿床富硫化物含金石英脉锆石 U-Pb 测年及成矿意义. 地质论评, 51 (3) : 340~346.
张志兰, 张树发, 袁海华. 1988. 广东河台金矿的硫铅同位素特征. 广东地质, 4 (1) : 29~39.
周永章. 1994. 河台金矿床流体包裹体的地球化学特征. 广东地质, 9 (4) : 37~46.
周永章, 张海华, 卢焕章, Guha J, Chown E H. 1995. 粤西河台金矿床的流体包裹体及成矿流体. 矿物学报, 15 (4) : 411~417.
Carter A, Roques D, Bristow C. 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. Geology, 29 : 211~214.
Chen Duofu, Li Xianhua, Pan Jingming, Dong Weiquan, Chen Guangqian, Chen Xianpei. 1998. Metamorphic newly produced zircons, SHRIMP ion microprobe U-Pb age of amphibolite of Hexi Group, Zhejiang and its implications. Acta Mineralogica Sinica, 18 (4) : 396~400 (in Chinese with English abstract).
Claoue-Long J, King R W, Kerrich R. 1990. Archean hydrothermal zircon populations in Abitibi greenstone belt: constrains on the timing of gold mineralization. Earth and Planetary Science Letters, 98: 109~128.
Composton W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. Journal of Geological Society, 149 : 171~184.
Corfu F, Davis D W. 1991. Comment of " Archean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constrains of the timing of gold mineralization" by Claoue-Long J C, King R W, Kerrich R. Earth and Planetary Science Letters, 104: 545~552.
Dempster T I, Hay D C, Black B J. 2004. Zircon growth in slate. Geology, 32: 221~224.
Dubinska E, Bylina P, Kozlowski A, Dorr W, Nejbert K, Schastok J, Kulicki C. 2004. U-Pb dating of serpentinization: hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). Chemical Geology, 203: 183~203.
Fu Lifan. 1989. Discussions on genesis of Hetai gold deposit, Guangdong province, China. Guangdong Geology, 4 (4) : 35~43 (in Chinese).
Fu Yunlian, Ye Bodan. 1991. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of the gold deposits in Guangdong. Acta Petrologica et Mineralogica, 10 (1) : 21~28 (in chinese with English abstract).

- Groves D I. 1993. The crustal continuum model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. *Mineral Deposita*, 28: 366~374.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13: 7~27.
- Guo Bin, Jie Yujin, Lu Qingdi. 2001. Discussion on the characteristics of Indesinian movement in Fujian province. *Fujian Geology*, 20 (2): 87~90 (in Chinese).
- Guo Fuxiang. 1998. Meso-Cenozoic Nanhua (south China) orogenic belt-subaerial tridirectional orogen. *Acta Geologica Sinica*, 72 (1): 22~33 (in Chinese with English abstract).
- Hoskin P W O, Schaltegger U. 2003. The incorporation of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. In: Hanehar J M, Hiskin P W O, eds. *Zircon, Review in Mineralogy and geochemistry*. Mineral Soc. Amer., 53: 27~62.
- Huang Guicheng, Wang Xiongwu, Yang Shiyi, Chen Longqing, Lin Jingsheng. 2001. Chronological evidence for the existence of Meso- to Paleoproterozoic basement in the Yukai uplift area. *Regional Geology of China*, 20(2): 194~199 (in Chinese with English abstract).
- Ji Mingjun. 1991. Preliminary discussion of the age of metamorphosed stratum in Hetai gold field, Guangdong province. *Guangdong Geology*, 6 (4): 35~42 (in Chinese).
- Jian Ping. 1991. U-Pb dating on zircon from migmatites and granites at the southwestern end of Yunkai upwarped district, south China. *Guangdong Geology*, 6 (2): 58~67 (in Chinese).
- Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaomeng. 2003. SHRIMP dating of carboniferous Jinshajiang ophiolite in western Yunnan and Sichuan: Geochronological constraints on the evolution of the paleo-Tethys oceanic crust. *Acta Geologica Sinica*, 77 (2): 217~228 (in Chinese with English abstract).
- Li Huimin, Li Huaikun, Lu Songnian, Yang Chunliang. 1997. Determination of age of gold mineralization of Dongping gold deposits by U-Pb dating hydrothermal Zircons from ore veins. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(Supp.): 176~179 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjan, Shen Baofeng, Mao Debao, Li Shuangbao, Zhou Huifang, Cheng Yuming. 1996. Research on mineralization geochronology of Jiapigou gold deposit, Jingling Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 70 (4): 335~340 (in Chinese with English abstract).
- Li S, Xiao Y, Liu D, et al. 1993. Collision of the north China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes. *Chem. Geol.*, 109: 89~111.
- Li Shuguang, Jagoutz E, Xiao Yiling, Ge Ningjie, Chen Yizhi. 1996. Chronology of ultrahigh-pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Su-Lu terrane: I. Sm-Nd isotope system. *Science in China (series D)*, 39(6): 397~609.
- Li Xianhua, Hu Ruizhong, Rao Bin. 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14~31 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhaolin, Zhai Wei, Huang Donglin, Zhao Wenxia, Yang Rongyong, Quan Yarong, Li Wen. 2001. The discovery of melt inclusions in Hetai and Qiaogashan ductile shear zone gold deposits and the genetic study of these deposits. *Mineral Deposits*, 20(3): 208~215 (in Chinese with English abstract).
- Liu Dunyi, Jian Ping. 2004. 243 Ma UHP and 228 Ma retrograde events of the Shuanghe jadeite quartzite, eastern Dabie Mountains—SHRIMP Dating, Mineral inclusions and zircon REE patterns. *Acta Geological Sinica*, 78 (2): 211~217.
- Qi Jinzhong, Yuan Shisong, Liu Zhijie, Liu Dunyi, Wang Yanbin, Li Zhihong, Guo Junhua, Sun Bin. 2004. U-Pb SHRIMP dating of zircon from quartz veins of the Yangshan gold deposit in Gansu province and its geological significance. *Acta Geological Sinica*, 78 (2): 443~451.
- Rubin E N, Henry C D, Price J G. 1993. The mobility of zirconium and other "immobile" elements during hydrothermal alteration. *Chemical Geology*, 110: 29~47.
- Wang Henian, Zhang Jingrong, Dai Aihua, Lin Jingsheng, Chen Chuting, Ji Mingjun. 1989. Geochemistry of the Hetai gold deposit in the altered mylonite zone. *Mineral Deposits*, 8(2): 61~70 (in Chinese with English abstract).
- Wang Henian, Zhang Shouyun, Yu shoujun, Chen Jun, et al. 1992. The ductile shear zone type gold deposits in the Cathaysia crustal block. Beijing: Science Press, 51~90 (in Chinese).
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Jian Ping, Xiong Xiaolin, Ma Jinlong, Bao Zhiwei. 2003. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Yangfang aegiriteaugite syenite in Wuyi Mountains of South China and its tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 48 (20): 2241~2247.
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Liang Xinquan, Peng Touping, et al. 2005. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of Indosinian granites in Hunan Province and its petrogenetic implications. *Chinese Science Bulletin*, 50 (13): 1395~1403.
- Watson E B, Chemiak D J, Hanchar J M, Harrison T M, Wark D A. 1997. The incorporation of Pb into zircon. *Chemical Geology*, 141: 19~31.
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappe, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contributions to Mineralogy Petrology*, 97: 205~217.
- Xie Caifu, Zhu Jinchu, Zhao Zijie, Ding Shijiang, Fu Taian, Li Zhihong, Zhang Yeming, Xu Deming. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb age dating of garnet-acmite syenite: constrains on the Hercynian-Indosinian tectonic evolution of Hainan island. *Geological Journal of China Universities*, 11 (1): 47~57 (in Chinese with English abstract).
- Ye Bodan. 1989. Data of isotope geochronology and its importance in Yunkai region between Guangdong and Guangxi province, China. *Guangdong Geology*, 4 (3): 39~65 (in Chinese).
- Zhai Wei, Li Zhaolin, Huang Donglin, Wen Yunjun. 2004. Discussion on Rb-Sr isochron age of sulfide-rich quartz vein at Hetai gold mine, western Guangdong, China. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 243~247 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Wei, Yuan Guibang, Li Zhaolin, Huang Donglin, Wen Yongjun. 2005. U-Pb isotope age of zircons in gold-bearing quartz veins from the Hetai gold deposit, western Guangdong, China; constrains on the timing of gold metallogenesis. *Geological Review*, 51 (3): 340~346 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G, Boulter C A, Liang J. 2001. Brittle origins for disseminated gold mineralization in mylonite: Gaocun gold deposit, Hetai goldfield, Guangdong province, south China. *Economic Geology*, 96: 49~59.

Zhou Yongzhang, Zhang Haihua, Lu Huanzhang, Guha J, Chown E
D. 1995. Fluid inclusions and hydrothermal fluids of Hetai gold

deposit, Western Guangdong China. Acta Mineralogica Sinica,
15(4): 411~417 (in Chinese with English abstract).

SHRIMP Zircon U-Pb Dating of the Hetai Gold Deposit in Western Guangdong, China and Geological Implications

ZHAI Wei¹⁾, LI Zhaolin¹⁾, SUN Xiaoming¹⁾, HUANG Donglin²⁾, LIANG Jinlong¹⁾, MIAO Laicheng³⁾

1) Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong, 510275

2) Hetai Gold Mine, Gaoyao, Guangdong, 526100

3) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029

Abstract

The Hetai gold deposit is strictly controlled by ductile shear zone. The metallogensis process can be divided into two epochs and four stages, viz., ductile shear metamorphic metallogensis epoch of ductile shear metamorphic metallogensis stage and hydrothermal alteration metallogensis epoch of gold quartz vein stage, gold sulfides stage and galena—sphalerite—carbonate vein stage. Gold mineralization occurred mainly in the gold quartz vein stage and the gold sulfide stage. SHRIMP zircon U-Pb dating show that the core and mantle ages of zircons from wallrock migmatite that hosted the deposit are 343.9~1732Ma, representing the source rock age for protolith of migmatite. The average age of the marginal zone ages of inherited zircons and the newly grown zircons in migmatite is 239.6±3.9Ma, belonging to the Indosinian period, and representing the age of migmatic metamorphism, which also corresponds with the times of the North—South China and Indochina—South China collision, and approves the occurrence of migmatic metamorphism in South China in the Indosinian epoch. The age of ductile share metamorphic mineralization is younger than the migmatite metamorphism age of 239.6±3.9Ma. The zircons from sulfide-rich gold-bearing quartz vein have high common Pb concentration, 0.65~2.27%, the range of Th/U ration is narrow, 0.306~0.557, and the age is 152.5±3.1Ma, belonging to the Yanshanian epoch, and representing the age of the main mineralization epoch of the Hetai gold deposit.

Key words: Hetai gold deposit; migmatite; gold-bearing quartz vein; SHRIMP zircon age; Indosinian epoch; Yanshanian epoch

程裕淇先生是我国变质作用和变质岩研究的创始人

董申保

北京大学, 100871

值此程裕淇先生文集问世之际,作为他的一个“私塾”弟子,追忆与先生交往五十年来,包括陪同去瑞典访问及多次去云南、华北各地野外考察情况,撷拾数事,以备参考。

程裕淇先生是我国地质事业的大师,在国内外享有崇高声望。特别是在岩石、矿床以及领导我国区测地质工作中作出了不可磨灭的贡献。我在和先生的交往中绝大部分时间是在变质岩的研究和工作方面,从开始接触到临终三星期前通电话的都是有关变质岩方面的问题。就据我所知,对先生在这一方面的工作,谈一些看法。

程裕淇先生是我国变质作用和变质岩研究的创始人,是留英并取得国际间荣誉地位的学者。他在英国的有关变质作用反应原理和混合岩化的研究,一再为国际所称誉。1940年

回国后,在变质作用研究方面的成就,为人所称道的有:①前寒武纪太古宙泰山群杂岩的研究以及其中具有鬃刺(spinifex texture)结构科马提岩的研究,是我国研究太古宙变质杂岩的一个里程碑。②第一次系统地研究了丹巴地区的蓝晶石型的中压相系及其混合花岗岩穹隆。③第一次总结了全国变质作用的分布特征及其成因。④提出了鞍山式富铁矿的混合成因。⑤第一次确定了元古宙蓝片岩的存在及其分布。⑥有关矿床成因系列方面的讨论。⑦在区域地质测量中提出了混合岩化分带和变粒岩的命名,体现了我国变质作用所具有的特征。晚年致力于太行山区太古宙混合花岗岩的终极原因及其进程的研究等等。在我国变质作用研究过程中提供了突破的方向和创新的思维。(下转第707页)

作者: 翟伟, 李兆麟, 孙晓明, 黄栋林, 梁金龙, 苗来成, ZHAI Wei, LI Zhaolin, SUN Xiaoming, HUANG Donglin, LIANG Jinlong, MIAO Laicheng

作者单位: 翟伟, 李兆麟, 孙晓明, 梁金龙, ZHAI Wei, LI Zhaolin, SUN Xiaoming, LIANG Jinlong (中山大学地球科学系, 广州, 510275), 黄栋林, HUANG Donglin (广东高要河台金矿, 高要, 526100), 苗来成, MIAO Laicheng (中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029)

刊名: 地质论评 

英文刊名: GEOLOGICAL REVIEW

年, 卷(期): 2006, 52(5)

被引用次数: 6次

参考文献(70条)

1. 陈多福, 李献华, 潘晶铭, 董维权, 陈光谦, 陈先沛 浙江景宁鹤溪群斜长角闪岩变质新生锆石特征、离子探针(SHRIMP) U-Pb年龄及地质意义[期刊论文]-矿物学报 1998(04)
2. 陈好寿, 李华芹 云开隆起金矿带流体包裹体Rb-Sr等时线年龄[期刊论文]-矿床地质 1991(04)
3. 符力奋 河台金矿区矿床成因探讨 1989(04)
4. 富云莲, 叶伯丹 广东清远-高要金矿的40Ar/39Ar测年 1991(01)
5. 郭斌, 揭育金, 卢清地 关于福建印支运动性质的讨论[期刊论文]-福建地质 2001(02)
6. 郭福祥 中国南方中生代大地构造属性和南华造山带褶皱过程 1998(01)
7. 胡芳芳, 范宏瑞, 杨进辉, 万渝生, 刘敦一, 翟明国, 金成伟 胶东乳山含金石英脉金矿的成矿年龄: 热液锆石SHRIMP法U-Pb测定[期刊论文]-科学通报 2004(12)
8. 黄圭成, 汪雄武, 杨世义, 陈龙清, 凌井生 两广云开隆起区存在中-古元古代基底的年代学证据[期刊论文]-中国区域地质 2001(02)
9. 季明钧 初论广东河台金矿区变质地层的时代 1991(04)
10. 简平 云开隆起西南端混合岩、花岗岩同位素地质年龄研究 1991(02)
11. 简平, 刘敦一, 孙晓猛 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩SHRIMP 测年: 古特提斯洋壳演化的同位素年代学制约[期刊论文]-地质学报 2003(02)
12. 李惠民, 李怀坤, 陆松年, 杨春亮 用矿脉中热液锆石的U-Pb定年确定东坪金矿床的成矿时代 1997(zk)
13. 李俊建, 沈保丰, 毛德宝, 李双保, 周慧芳, 程玉明 吉林夹皮沟金矿床成矿时代的研究 1996(04)
14. 李曙光, Jagouz E, 肖益林, 葛宁洁, 陈移之 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学- I. Sm-Nd体系 1996(03)
15. 李献华, 胡瑞忠, 饶冰 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学 1997(02)
16. 李兆麟, 翟伟, 黄栋林 新疆乔尔山和粤西河台剪切带金矿床中熔融包裹体的发现及矿床成因研究[期刊论文]-矿床地质 2001(03)
17. 刘敦一, 简平 大别山双河硬玉石英岩的超高压变质和退变质年龄—SHRIMP测年的证据[期刊论文]-地质学报 2004(03)
18. 王鹤年, 张景荣, 戴爱华, 凌井生, 陈础庭, 季明均 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究[期刊论文]-矿床地质 1989(03)
19. 王鹤年, 张守韵, 俞受璠, 陈骏 华夏地块韧性剪切带型金矿地质 1992
20. 王强, 赵振华, 简平, 熊小林, 马金龙, 包志伟 武夷山洋坊霓辉石正长岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄及其构造意义[期刊论文]-科学通报 2003(14)
21. 王岳军, 范蔚茗, 梁新权, 彭头平, 石玉若 湖南印支期花岗岩SHRIMP锆石U-Pb年龄及其成因启示[期刊论文]-科

22. [谢才富, 朱金初, 赵子杰, 丁式江, 付太安, 李志宏, 张业明, 徐德明](#) 三亚石榴霓辉石正长岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄:对海南岛海西-印支期构造演化的制约[期刊论文]-[高校地质学报](#) 2005(01)
23. [叶伯丹](#) 两广云开地区同位素地质年龄数据及其地质意义 1989(03)
24. [翟伟, 李兆麟, 黄栋林, 文拥军](#) 粤西河台金矿床富硫化物石英脉Rb-Sr等时线年龄讨论[期刊论文]-[地球学报](#) 2004(02)
25. [翟伟, 袁桂邦, 李兆麟, 黄栋林, 文拥军](#) 粤西河台金矿床富硫化物含金石英脉锆石U-Pb测年及成矿意义[期刊论文]-[地质论评](#) 2005(03)
26. [张志兰, 张树发, 袁海华](#) 广东河台金矿的硫铅同位素特征 1988(01)
27. [周永章](#) 河台金矿床流体包裹体的地球化学特征 1994(04)
28. [周永章, 张海华, 卢焕章, Guha J Chown E H](#) 粤西河台金矿床的流体包裹体及成矿流体[期刊论文]-[矿物学报](#) 1995(04)
29. [Carter A, Roques D, Bristow C](#) Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia:Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam 2001
30. [Chen Duofu, Li Xianhua, Pan Jingming, Dong Weiquan Chen Guangqian Chen Xianpei](#) Metamorphic newly produced zircons, SHRIMP ion microprobe U-Pb age of amphibolite of Hexi Group, Zhejiang and its implications (in Chinese with English abstract)[期刊论文]-[Acta Mineralogica Sinica](#) 1998(04)
31. [Claoue-Long J, King R W, Kerrich R](#) Archean hydrothermal zircon populations in Abitibi greenstone belt:constrains on the timing of gold mineralization 1990
32. [Composton W, Williams I S, Kirschvink J L](#) Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale 1992
33. [Corfu F, Davis D W](#) Comment of "Archean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt:constrains of the timing of gold mineralization" by Claoue-Long J C, King R W, Kerrich R 1991
34. [Dempster T I, Hay D C, Black B J](#) Zircon growth in slate 2004
35. [Dubinska E, Bylina P, Kozlowski A, Dorr W, Nejbert K, Schastok J, Kulicki C](#) U-Pb dating of serpentinitization:hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic opololite, SW Poland) 2004
36. [Fu Lifan](#) Discussions on genesis of Hetai gold deposit, Guangdong province, China (in Chinese) 1989(04)
37. [Fu Yunlian, Ye Bodan](#) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of the gold deposits in Guangdong 1991(01)
38. [Groves D I](#) The crustal continuum model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia 1993
39. [Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M](#) Orogenic gold deposits:A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types 1998
40. [Guo Bin, Jie Yujin, Lu Qingdi](#) Discussion on the characteristics of Indesinian movement in Fujian province (in Chinese)[期刊论文]-[Fujian Geology](#) 2001(02)
41. [Guo Fuxiang](#) Meso-Cenozoic Nanhua (south China) orogenic belt-subaerial tridirectional orogen (in Chinese with English abstract) 1998(01)

42. [Hoskin P W O. Schaltegger U The incorporation of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis 2003](#)
43. [Huang Guicheng. Wang Xiongwu. Yang Shiyi. Chen Longqing Lin Jingsheng Chronological evidence for the existence of Meso-to Paleoproterozoic basement in the Yukai uplift area \(in Chinese with English abstract\) \[期刊论文\]-Regional Geology of China 2001\(02\)](#)
44. [Ji Mingjun Preliminary discussion of the age of metamorphosed stratum in Hetai gold field, Guangdong province \(in Chinese\) 1991\(04\)](#)
45. [Jian Ping U-Pb dating on zircon from migmatites and granites at the southwestern end of Yunkai upwarped district, south China \(in Chinese\) 1991\(02\)](#)
46. [Jian Ping. Liu Dunyi. Sun Xiaomeng SHRIMP dating of carboniferous Jinshajiang ophiolite in western Yunnan and Sichuan: Geochronological constraints on the evolution of the paleo-Tethys oceanic crust \(in Chinese with English abstract\) \[期刊论文\]-Acta Geologica Sinica 2003\(02\)](#)
47. [Li Huimin. Li Huaikun. Lu Songnian. Yang Chunliang Determination of age of gold mineralization of Dongping gold deposits by U-Pb dating hydrothermal Zircons from ore veins 1997\(zk\)](#)
48. [Li Junjan. Shen Baofeng. Mao Debao. Li Shuangbao Zhou Huifang Cheng Yuming Research on mineralization geochronology of Jiapigou gold deposit, Jingling Province, China \(in Chinese with English abstract\) 1996\(04\)](#)
49. [Li S. Xiao Y. Liu D Collision of the north China and Yangtse blocks and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes 1993](#)
50. [Li Shuguang. Jagoutz E. Xiao Yiling. Ge Ningjie, Chen Yizhi Chronology of ultrahigh-pressure metamorphism in the Dabie Mountains and Su-Lu terrane: I. Sm-Nd isotope system 1996\(06\)](#)
51. [Li Xianhua. Hu Ruizhong. Rao Bin Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China \(in Chinese with English abstract\) 1997\(02\)](#)
52. [Li Zhaolin. Zhai Wei. Huang Donglin. Zhao Wenxia Yang Rongyong Quan Yarong Li Wen The discovery of melt inclusions in Hetai and Qiaogashan ductile shear zone gold deposits and the genetic study of these deposits \(in Chinese with English abstract\) \[期刊论文\]-Mineral Deposits 2001\(03\)](#)
53. [Liu Dunyi. Jian Ping 243 Ma UHP and 228 Ma retrograde events of the Shuanghe jadeite quartzite, eastern Dabie Mountains--SHRIMP Dating, Mineral inclusions and zircon REE patterns \[期刊论文\]-Acta Geologica Sinica 2004\(02\)](#)
54. [Qi Jinzhong. Yuan Shisong. Liu Zhijie. Liu Dunyi Wang Yanbin Li Zhihong Guo Junhua Sun Bin U-Pb SHRIMP dating of zircon from quartz veins of the Yangshan gold deposit in Gansu province and its geological significance 2004\(02\)](#)
55. [Rubin E N. Henry C D. Price J G The mobility of zirconium and other "immobile" elements during hydrothermal alteration 1993](#)
56. [Wang Henian. Zhang Jingrong. Dai Aihua. Lin Jingsheng Chen Chuting Ji Mingjun Geochemistry of the Hetai gold deposit in the altered mylonite zone \(in Chinese with English abstract\) 1989\(02\)](#)
57. [Wang Henian. Zhang Shouyun. Yu shoujun. Chen Jun The ductile shear zone type gold deposits in the](#)

[Cathaysia crustal block \(in Chinese\) 1992](#)

58. [Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Jian Ping, Xiong Xiaolin Ma Jinlong Bao Zhiwei SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Yangfang aegiriteaugite syenite in Wuyi Mountains of South China and its tectonic implications\[期刊论文\]-Chinese Science Bulletin 2003\(20\)](#)
59. [Wang Yuejun, Fan Weiming, Liang Xinquan, Peng Touping SHRIMP zircon U-Pb geochronology of Indosinian granites in Hunan Province and its petrogenetic implications\[期刊论文\]-Chinese Science Bulletin 2005\(13\)](#)
60. [Watson E B, Chemiak D J, Hanchar J M, Harrison T M Wark D A The incorporation of Pb into zircon 1997](#)
61. [Williams I S, Claesson S Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappe, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb 1987](#)
62. [Xie Caifu, Zhu Jinchu, Zhao Zijie, Ding Shijiang Fu Taian Li Zhihong Zhang Yeming Xu Deming Zircon SHRIMP U-Pb age dating of garnet-acmite syenite:constrains on the Hercynian-Indosinian tectonic evolution of Hainan island \(in chinese with English abstract\)\[期刊论文\]-Geological Journal of China Universities 2005\(01\)](#)
63. [Ye Bodan Data of isotope geochronology and its importance in Yunkai region between Guangdong and Guangxi province, China \(in Chinese\) 1989\(03\)](#)
64. [Zhai Wei, Li Zhaolin, Huang Donglin, Wen Yunjun Discussion on Rb-Sr isochron age of sulfide-rich quartz vein at Hetai gold mine, western Guangdong, China \(in Chinese with English abstract\)\[期刊论文\]-Acta Geoscientia Sinica 2004\(02\)](#)
65. [Zhai Wei, Yuan Guibang, Li Zhaolin, Huang Donglin Wen Yongjun U-Pb isotope age of zircons in gold-bearing quartz veins from the Hetai gold deposit, western Guangdong, China:constrains on the timing of gold metallogenesis \(in Chinese with English abstract\)\[期刊论文\]-Geological Review 2005\(03\)](#)
66. [Zhang G, Boulter C A, Liang J Brittle origins for disseminated gold mineralization in mylonite:Gaocun gold deposit, Hetai goldfield, Guangdong province, south China 2001](#)
67. [Zhou Yongzhang, Zhang Haihua, Lu Huanzhang, Guha J Chown E D Fluid inclusions and hydrothermal fluids of Hetai gold deposit, Western Guangdong China \(in Chinese with English abstract\)\[期刊论文\]-Acta Mineralogical Sinica 1995\(04\)](#)
68. [广东省地质科学研究所 河台金矿区变质作用与金的成矿作用 1989](#)
69. [翟伟 粤西河台金矿床地球化学与成因研究\[学位论文\] 2003](#)
70. [广东省地质矿产局719地质大队 1:5万伍村幅地质图说明书 1988](#)

相似文献(8条)

1. 期刊论文 [邹友良, 尹承忠, ZOU Youliang, YIN Chengzhong 河台金矿床的控矿因素、矿化富集规律及找矿前景 - 黄金科学技术2007, 15\(4\)](#)
河台金矿床是一产于韧性剪切带中的大型金矿床。该矿床位于南岭东西向复杂构造带中段南侧,属不同构造叠加复合部位。从该矿的矿床地质特征入手,根据多年的现场实际工作经验,并通过分析、研究前人多种地质工作成果,解析了地层、构造、岩浆岩、混合岩等控矿因素与成矿的关系,总结了矿化富集规律,预测了找矿前景。
2. 学位论文 [刘伟 广东河台金矿床成因及成矿规律研究 2004](#)

河台金矿位于广东省高要市,是一个典型的产于韧性剪切带中的大型金矿床。该矿床位于南岭东西向复杂构造带中段的南侧,属不同构造叠加复合部位,成矿条件十分有利。本论文在分析、研究前人各种工作成果的基础上,经过深入细致的野外地质调查,收集大量地质信息,采集大量岩石、矿石样品,应用现代岩石学、矿床学、地球化学、矿物学、同位素地质学及成矿预测学等理论和方法,并采用计算机处理数据、模拟制图等手段,从区域成矿地质背景研究入手,着重研究了地层、构造、岩浆岩、混合岩与成矿的关系,首次论证了矿区倒转背斜的存在;运用地质学的观点从宏观和微观上分析了矿区构造的演化和变迁;深入地研究了矿床地质特征及矿源层的成因,成矿流体的性质,矿液运移的方向和成矿元素在流体中的迁移形式,提出了矿床成因的新观点,建立了该矿床新的成矿模式;分析了各种控矿因素,总结了成矿规律。在找矿实践中,综合运用物探、化探、遥感等手段,对该区找矿前景进行了全面的评价,提出了该区有望的找矿区段。通过研究认为,主成矿物质Au元素主要来自于震旦系C组地层(矿源层),成矿热液是由大气降水、变质水、岩浆水组成的混合流体,Au等成矿元素在流体中以络合离子的形式迁移,在弱碱性还原环境下沉淀成矿,矿床成因类型属于受韧性剪切带控制的热动力变质+热液循环聚集型金矿床,这一成矿模式充分揭示了矿体形成侧伏的本质规律,由此提出了糜棱岩带赋存工业矿体的必要条件。

3. 期刊论文 [杨风根, 王鹤年, 华仁民](#) 河台金矿中稀土元素在韧性剪切过程中迁移行为的研究 -中国稀土学报

2004, 22 (1)

通过对两类糜棱岩及其原岩的稀土元素含量的分析研究,结果表明,稀土元素在韧性剪切过程中发生有规律的成分变异。在云母石英片岩及混合岩形成糜棱岩、超糜棱岩过程中,即随着变形强度的增强,单个稀土元素、轻稀土、重稀土和稀土总量均出现有规律的增加或减少,而稀土元素配分模式不变。通过对构造岩变形前后的等比分析,认为两类不同的糜棱岩类中稀土元素的成分变异极小,但存在少量稀土元素的迁入和迁出,变化的原因是在岩石变形过程中发生了体积的改变和大量的流体作用影响,并导致轻稀土相对富集、重稀土相对亏损的分异作用。

4. 期刊论文 [李兆麟, 翟伟, 黄栋林, 孙凯, 文拥军](#) 河台金矿床垂深及横向剖面Au及伴生微量元素地球化学特征及矿床深部评价 -地球化学2002, 31 (5)

不少韧性剪切带金矿床已由勘探转入开采,当前生产上急需解决的问题是矿床深部矿体延深评价。对河台金矿床矿山资料进行了二次开发,并在矿床沿垂深及横向剖面进行了系统取样分析,研究了河台金矿床Au及伴生微量元素在垂深及横向剖面上的地球化学行为。结果表明,Au及伴生微量元素在垂深及横向上含量变化具不均性。矿床垂深剖面Au品位自上而下降高,Ag趋向于下降,Au/Ag比值升高,大部分变化范围为0.5~4.0,0m以下为0.38~7.0。据此判断目前揭露矿体属中上部。在矿床垂深剖面Au及伴生微量元素Bi、Se和S具有自上而下降高的趋势;Ag和W自160m至0m则下降,Au/Ag、S/Se和Bi/Au比值自上而下降高,这可以作为矿体延深评价及找矿地球化学的指示剂。本矿床特征元素组合为AuAgBiSCuSeAsW。矿床横向剖面中Au及伴生微量元素含量在不同类型的岩石中各不相同,自混合岩→糜棱岩化混合岩→千糜岩和超糜棱岩矿体,Au、Ag、As、S、Cu、Bi、Se和W具有升高的规律,Au/Ag、S/Se、Cu/(Pb+Zn)和W/Sn比值在上述序列岩石中具有升高的规律,而W/Au、Pb/Zn和Bi/Au则下降,这可以作为本矿找矿地球化学指标。根据本矿床成矿地质条件及综合Au及微量元素的地球化学特征诸因素分析,本矿床成矿物质来源于混合岩,并与基底建造具密切关系。可以认为在0m中段往深部仍有具工业价值的矿体,河台金矿可发展成为超大型金矿床。

5. 学位论文 [文拥军](#) 粤西河台金矿床形成物理化学条件研究 2003

该论文通过对河台金矿床不同中段及不同岩性的岩石学特征、微量元素地球化学特征和包裹体的系统分析研究,对河台金矿床形成的物理化学条件进行了较为系统的探讨。由糜棱岩显微组构系统的镜下特征和研究结果,我们得出控制河台金矿床的剪切带性质是以韧性剪切为主,兼有脆性形变,为一典型的韧性剪切带。研究工作中,我们在石英脉、糜棱岩及副矿物锆石中首次发现了熔融包裹体及流体-熔融包裹体,均一温度分别为810°880℃、900°955℃;通过电镜能谱及电子探针对石英脉和副矿物锆石中子矿物成分分析,鉴定出石英、钾长石、硅灰石及不同的硅酸盐,并分别形成不同矿物组合,研究成果为本区矿脉中熔融包裹体的存在提供了有力依据。并且河台金矿床含石英脉、糜棱岩以及混合岩包裹体中流体气液相化学成分及其浓度具有相似性,依此可以推断河台金矿床的形成可能与变质深熔作用有密切关系。

6. 期刊论文 [黄栋林](#) 粤西金矿床成矿地球化学研究 -地质找矿论丛2004, 19 (1)

粤西金矿床分为构造蚀变岩型、石英脉型和变质岩型。赋金地层主要为云开群上亚群和寒武系八村群,它们具有较高的含金丰度,可作为本区金的矿源层。在区域变质或混合岩化作用下,矿源层中的金可能发生活化、转移并在局部富集。海西-印支期花岗岩有继承变质岩、混合岩的特征,分异演化程度不高,这对金成矿有利。

7. 期刊论文 [伍思洪, Wu Sihong](#) 广东河台金矿区地质规律的重新认识及探矿 -黄金科学技术2005, 13 (3)

通过对河台金矿区的成矿地质背景、控矿因素与成矿地质规律的分析、总结,并根据矿区范围内工程揭露的地质资料进行研究,提出了新的认识:在糜棱岩带以外的糜棱岩化石英片岩、碎裂岩化糜棱岩化混合岩仍然存在矿体;往深部糜棱岩带有变弱趋势;小矿体规模要重新定位不容忽视。这些认识可为今后生产探矿与地质找矿工作提供理论依据。

8. 学位论文 [翟伟](#) 粤西河台金矿床地球化学与成因研究 2003

河台金矿床位于华南造山带粤西隆起地区NE向的广宁—罗定断裂带东北部与NNE向的吴川—四会断裂带的交汇部位。矿床产于广宁—罗定断裂带的次一级构造河台韧性剪切带中,赋矿地层震旦系乐昌群为一套整体无序的变质岩组成,岩性有石英绢云母片岩、二云母石英片岩、变粒岩、片麻岩、混合岩、混合花岗岩等。河台金矿床成矿作用分为两个期四个阶段,即韧性剪切变质成矿期的韧性剪切变质作用阶段和热液蚀变成矿期的金石英阶段、金硫化物阶段和方铅矿-闪锌矿-碳酸盐脉阶段。河台金矿床主成矿阶段金石英脉阶段形成的流体包裹体有三大类,即富CO₂、H₂O等挥发性流体的流体包裹体、流体熔融包裹体和熔融包裹体。流体包裹体以富CO₂、2>液相包裹体为主,H₂O、2>O溶液包裹体处于次要地位;熔融包裹体成分以富SiO₂、2>硅酸盐熔体、富钾铝硅酸盐熔体、富镁铁铝硅酸盐熔体、碳酸岩熔体、硫化物熔体为主,成矿流体为富CO₂、2>H₂O-CH₄、4>挥发份的富含钾铝硅酸盐熔体、富镁铁铝硅酸盐熔体、碳酸岩熔体及硫化物熔体的富SiO₂、2>硅酸盐熔体。Au及硫化物等成矿物质可能是以熔体的形式迁移,成矿作用与富CO₂、2>H₂O-CH₄、4>挥发性流体与富SiO₂、2>硅酸盐熔体相分离作用密切相关。来自幔源的成矿流体,由于温度压力的降低,使富CO₂、2>H₂O-CH₄、4>挥发性流体、富钾铝硅酸盐熔体、富镁铁铝硅酸盐熔体、碳酸盐熔体、硫化物熔体、富SiO₂、2>硅酸盐熔体之间发生不混合作用而沉淀富集成矿。主成矿阶段水溶液包裹体均一温度为200°360℃,盐度为3.728~10.481wtNaCl;富CO₂、2>液相包裹体均一温度为287°452℃;熔融包裹体均一温度为810°880℃;熔融流体包裹体均一温度大于600℃。成矿温度大于挥发性流体包裹体的均一温度,成矿压力2~3kbar(深度6.5~10.0km)。成矿流体δ¹⁸O<18‰,δ²H₂O=-5.53‰~7.42‰,δ¹³C₁=-10.3‰~-57.6‰,δ³⁴S变化范围小,在0.02‰~-3.1‰,平均值为-1.92‰;δ³He/δ⁴He=1.01×10⁻⁶~1.76×10⁻⁶,成矿流体成矿物质来自地幔,幔源流体在成矿作用过程中起主导作用,并有变质流体与天水的叠加混入。富硫化物含金石英脉中单颗粒锆石U-Pb年龄测定显示成矿作用发生在早加里东期,成矿年龄为492±16Ma,成矿作用是华南早加里东期构造作用-岩浆作用-变质作用的一个组成部分,并可能有后期的热液叠加蚀变作用。

引证文献(6条)

1. [李长民](#) 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[期刊论文]-地质调查与研究 2009 (3)

2. [张岳桥, 徐先兵, 贾东, 舒良树](#) 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的变形记录[期刊论文]-地学前缘 2009 (1)

3. [张岳桥, 徐先兵, 贾东, 舒良树](#) 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的变形记录[期

刊论文]-[地学前缘](#) 2009(1)

4. [孙景贵](#), [门兰静](#), [赵俊康](#), [陈雷](#), [梁树能](#), [陈冬](#), [逢伟](#) [延边小西南岔大型富金铜矿床矿区内暗色脉岩的锆石年代学及其地质意义](#)[期刊论文]-[地质学报](#) 2008(4)

5. [毕诗健](#), [李建威](#), [赵新福](#) [热液锆石U-Pb定年与石英脉型金矿成矿时代:评述与展望](#)[期刊论文]-[地质科技情报](#) 2008(1)

6. [窦海清](#), [冷慧娟](#) [对河台金矿成矿作用的新构想](#)[期刊论文]-[华南地质与矿产](#) 2007(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzlp200605024.aspx

授权使用: 西北大学(xaxbdx), 授权号: 51ba6bc8-8ef8-4f9c-b64d-9dfe009a1a95

下载时间: 2010年9月27日