越南石溪铁矿区二长花岗岩地球化学特征、 锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成及其成矿意义

施美凤,朱华平,林方成,范文玉,王宏,邓奇,丛峰 中国地质调查局成都地质调查中心,成都,610081

内容提要:位于印支陆块东北部长山成矿带内的越南石溪铁矿是东南亚地区最大的砂卡岩型富磁铁矿。本文 对矿区与铁矿成矿有关的黑云母二长花岗岩进行了锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Hf 同位素研究。地球化学分 析结果显示,岩体富硅(SiO₂为 69.82%~71.8%)、贫钙镁(TFeO/MgO 比值为 4.07~4.76)、弱过铝质(A/CNK 为 1.01~1.05),明显富集 Rb、Th、Pb、Zr,亏损 Ba、Sr-P 和 Eu-Ti,属于铝质 A 型花岗岩。锆石 U-Pb 定年结果显示, 矿区 Phia Bioc 杂岩体中黑云母二长花岗岩侵位于 257.8±2.2 Ma,属于晚二叠世。锆石的 ε_{Hf}(t)值为-2.6~ -6.4,对应的二阶段 Hf 模式年龄 t_{DM2}为 1296~1505 Ma。岩石地球化学特征及 Hf 同位素组成表明,石溪铁矿区 Phia Bioc 杂岩体中黑云母二长花岗岩主要形成于古老下地壳岩浆岩的部分熔融,应该形成于特提斯马江洋向长山 带下俯冲时期的弧后伸展构造背景。

关键词:锆石 U-Pb 年龄;地球化学;Hf 同位素;石溪铁矿;越南长山带

老挝-越南长山(Truong Son)带(前人又称之为 长山地块或长山褶皱带)是东南亚地区重要的铁铜 金多金属成矿带之一,带内分布有很多大型一超大 型矿床,如越南石溪(Thack Khe)砂卡岩型铁矿、蓬 苗(Bong Mieu)热液型(造山型)金矿、福山(Phuoc Son) 热液型(造山型) 金矿, 老挝色潘(Sepon) 斑岩-矽卡岩型铜金矿、富康(Phu Kham)斑岩-矽卡岩型 铜金矿、爬立山(Pha Lek)矽卡岩型铁矿、富诺安 (Phu Nhuan) 矽卡岩型铁矿等。这些矿床主要受晚 古生代以来洋壳俯冲所导致的活动陆缘岩浆活动、 弧-陆或陆-陆碰撞作用的控制(Backhouse, 2004; Kamvong et al., 2014; Khin Zaw et al., 2014; Tran et al., 2014; Manaka et al., 2014),而这些 构造-岩浆活动在长山带内形成很多复式岩浆杂岩 体,如奠边(Dien Bien)、马江(Song Ma)、Phia Bioc、 长山(Truong Son)、海文(Hai Van)和 Bengiang-Queson 等杂岩体,这些岩体与带内铁铜金钨锡等金 属矿产有密切的成因联系,其年代学格架和地球化 学性质的确立对于研究长山带的构造演化、带内主 要成矿事件及矿床成因具有重大意义。

石溪(Thack Khe)铁矿位于长山带中部的大江 (Song Ca)断裂系的东端(图 1a),是东南亚地区最 大的砂卡岩型富磁铁矿。1962年通过航磁发现异常,后于1964年经勘探和钻探发现,探明储量加资源量为5.5×10⁸ t[•],TFe平均品位为61.35%。由于矿床靠近大海,矿体埋深可至海平面以下420m,海水灌入采区最大流量为7952m³/d,开采条件较差,加之含锌偏高,目前尚未开发,但具有极大的工业价值。

如前所述,石溪铁矿与带内 Phia Bioc 复式杂岩 体有密切的成因联系(Tran et al., 2008)。Phia Bioc 岩体主要沿长山成矿带中部北西一南东向的 大江(Song Ca)断裂系(清化省、义安省和河静省)和 马江(Song Ma)断裂展布,侵入到古生代浅变质岩 中,主要由花岗闪长岩、二长花岗岩、二云母花岗岩 组成。然而,长山成矿带内对于 Phia Bioc 岩体的准 确年龄、地球化学特征及 Hf 同位素至今仍无公开 资料报道,越南1:20 万地质填图仅根据岩体与地 层的 接触关系将其定为三叠纪晚期(DGMV, 2005),这严重阻碍了对长山成矿带成矿体系的正确 认识。因此,有必要对这个岩体的侵入时代、岩石成 因及形成的构造背景进行深入研究。

本文在对石溪铁矿的现场考察和收集部分内部 资料的基础上,首次对石溪铁矿区的 Phia Bioc 黑云

注:本文为国家自然科学基金青年基金项目(编号 41402103)、中国地质调查项目(编号 1212011220912、1212011120337)联合资助成果。 收稿日期:2015-05-09;改回日期:2015-07-21;责任编辑:周健。

作者简介:施美凤,女,1984年生。工程师,主要从事大地构造与成矿研究。Email: shimeifeng-1204@163.com。

2015 年

母二长花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位 素定年,从而精确厘定了该岩体的形成时代,并通过 对全岩主微量元素和锆石原位 Lu-Hf 同位素进行 分析,进一步浅析了该岩体的成因、构造背景及与成 矿的关系。

1 地质背景

长山成矿带沿老挝-越南中部北西—南东向的 长山山脉展布,北起马江结合带(Metcalfe, 1996; Lepvrier et al., 1997, 2004, 2008; Hoa et al., 2008; Liu et al., 2012)、南至色潘-福山-三岐结合 带(Lepvrier et al., 2004, 2008; Tran et al., 2014; Shi et al., 2015),东临太平洋,西以奠边府 断裂-泰国黎府结合带为界(Sone and Metcalfe, 2008; Khositanont et al., 2008; Lai et al., 2014; Kamvong et al., 2014)(图 1a)。主要发育古生 代一中生代低变质岩系,包括志留纪一早泥盆世和 晚二叠世海相沉积,晚二叠世玄武岩、杏仁状玄武岩 和凝灰岩及三叠纪海陆相沉积。长山成矿带广泛发 育古生代一早中生代侵入岩体,如奠边(Dien Bien)、马江(Song Ma)、Phia Bioc、长山(Truong Son)、海文(Hai Van)和 Bengiang-Queson等杂岩 体。现有的关于这些岩体的Ar-Ar、U-Pb 同位素和 地球化学分析结果显示,长山带(尤其是大江断裂以 北的北长山带)岩浆活动主要形成于二叠纪一三叠 纪的活动大陆边缘(Lepvrier et al., 1997, 2004, 2008; Hoa et al., 2008; Liu et al., 2012),并解释 为古特提斯马江洋壳向南俯冲、印支陆块与华南陆 块碰撞的结果。

石溪(Thack Khe)铁矿位于越南中部河静省河 静市北东 7 km 的海岸区,矿区地表均被海岸沙和 粘土层覆盖,只有石溪湾(The gulf of Thack Khe) 有两个小山坡出露花岗岩(Phia Bioc 岩体)(图 1b), 山顶海拔 373m。矿区地质图及勘探钻孔资料显示 (图 2),该区域地层主要由中一下泥盆统角岩、大理 岩和灰岩,石炭纪一二叠纪灰岩和大理岩,中三叠统



图 1 长山带构造位置图(a)和石溪铁矿地质简图(b)

Fig. 1 Tectonic framework of the Truong Son belt (a) and a simplified geological map (b) of Thack Khe Fe deposit RRF—红河断裂; SDF—达江断裂; DBPF—奠边府断裂; SCF—大江断裂; ①—哀牢山结合带; ②—马江结合带; ③—奠边府—黎府结合带; ④—三岐—福山结合带

RRF—Red river fault; SDF—Song Da fault; DBPF—Dien Bien Phu fault; SCF—Song Ca fault; ①—Ailaoshan suture; ②—Song Ma suture; ③—Dien Bien Phu-Loei suture; ④—Tamky-Phuoc Son suture 砂岩、泥质页岩和角岩组成, Phia Bioc 岩体侵入 中一下泥盆统及石炭系一二叠系中,并在岩体外接 触带形成砂卡岩和大理岩,矿体产于外接触带(图 2a)。

长山(成矿)带受印支运动的影响,区域构造总体呈北西一南东向,带内发育一系列平行的第三纪 走滑断裂,长山带中部的大江(Song Ca)断裂系将其 分为南北长山带,断裂带主要发育绿片岩相的变质 碎屑岩和火山岩。石溪铁矿就产于大江断裂系的东 端,这些断裂为矿床成矿与定位提供了有利条件。 2 矿床地质特征

石溪铁矿产于泥盆纪一二叠纪碳酸盐岩与黑云 母花岗岩、花岗闪长岩的接触带,已勘探的矿区矿体 呈北北东向展布,似透镜状,向南倾斜,倾角 20°;横 剖面呈马尾状,向西扩散进入花岗岩体内(图 2b)。 矿体埋深 25~135 m,长约 3 km,大体可分南、北两 矿段;矿体北部宽 200~400 m,厚 22~273 m;南部 最宽处 700 m,厚 17~443 m。矿石以块状磁铁矿-赤铁矿 富矿 为主(占 95%), TFe 品位为 60% ~



图 2 石溪铁矿已勘探的矿区地质图(a)及 A—B 横剖面图(b)(据亚太经社会区域矿产资源图册,越南,第6卷) Fig. 2 Geological map (a) of the explored area and cross-section (b) of Thack Khe Fe deposit (after Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, Vol. 6, Vietnam)

1-沙;2-泥土;3-中三叠统砂岩、泥质页岩、角岩;4-石炭纪-二叠纪石灰岩、大理岩;5-中-下泥盆统角岩、大理岩、灰岩; 6-杂有砂卡岩的变质岩;7-采样花岗岩;8-断层;9-矿体;10-钻孔(A 在矿体中,B 在矿体外)

1—Sands; 2—clays; 3—Mid-Triassic sandstone, argillaceous shale, hornstone; 4—Carboniferous—Permian limestone and marble; 5—Lower to Middle Devonian hornstone, limestone and marble; 6—metamorphic rock with skarns; 7—sampled granites; 8—fault; 9—ore body; 10—drilled hole (A represent within ore-body and B is outer-ring) 65%,平均61.35%,铁矿资源量5.5×10⁸t,属酸性 低磷、低硫富铁矿石,局部有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿 等硫化物细脉。

矿石矿物分3个阶段形成[●]:第一阶段主要形 成磁铁矿、钛铁矿-赤铁矿和干砂卡岩矿物;第二个 阶段形成矿物包括磁铁矿、赤铁矿、金红石、阳起石 和碳酸盐,该阶段的磁铁矿更富集,形成磁铁矿总量 的 30%~35%,并包围第一个阶段所形成的磁铁 矿,晚期脉状黄铁矿穿切第一、二阶段的磁铁矿;第 三阶段形成的矿物包括磁铁矿、赤铁矿、石英和铜铅 锌硫化物。形成的磁铁矿占磁铁矿总量的 35%~ 40%,在石溪矿床中占主要地位,块状构造矿物颗粒 小于 0.02 mm。硫化物如黄铁矿、黄铜矿、方铅矿 进入第一、二阶段的小细脉之内或将后者穿切。细 脉状黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等硫化物穿切第一、二 阶段矿体。

样品描述及分析方法 3

本文所研究的样品采自石溪铁矿北部 Phia Bioc杂岩体的黑云母二长花岗岩,共6件样品,其 中一件样品(VN12-023:18°26′42",105°56′45")进行 了锆石 U-Pb 同位素定年和 Lu-Hf 同位素分析。二 长花岗岩样品新鲜,具轻微蚀变,似斑状结构(图 3a、b),含很多长石斑晶,长轴长 0.5~2 cm,含量约 35%,显微镜下(图 3c、d),这些斑晶主要是钾长石, 填于斜长石间隙中。其次是半自形状的斜长石,含

500un 图 3 石溪铁矿二长花岗岩野外照片及显微镜下照片 Fig. 3 Field occurrence and microphotographs of the dated sample from Thack Khe Fe deposit (a)一矿区北部 Phia Bioc 杂岩体露头;(b)一测年二长花岗岩照片;(c)一测年样品显微照片,绢云母化钾长石斑晶; (d)一测年样品显微照片;Q一石英;Pl一斜长石;Kfsp一钾长石;Bi一黑云母 (a)-Field photo of the Phia Bioc complex occurred in the north of mine; (b)-field photo of the dated monzogranite; (c)-microphotograph of the dated sample, show the K-feldspar phenocrysts; (d)-microphotograph of the dated sample; Q-quartzs; Pl-plagioclase; Kfsp-K-feldspar; Bi-biotite



量约 30%,具有强绢云母化且被绢云母占据,仅有 假象(图 3c),部分斜长石中包裹有磁铁矿和黑云 母。石英含 25%,填于长石间隙中,常有碎裂。黑 云母含量 10%左右,填于长英质矿物间。

锆石 U-Pb 定年: 锆石样品破碎和挑选由河北 省廊坊区域地质矿产调查研究所实验室完成,通过 重力和磁选方法从岩石样品中分选出锆石,与标准 锆石(QH)一起制备成环氧树脂靶(宋彪等,2002) 经过抛光、清洗处理后,进行透射光、反射光和阴极 发光(CL)扫描电子显微镜照相。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb年代学分析在中国地质大学(武汉)地质过程 与矿产资源国家重点实验室完成。使用的 ICP-MS 为 Elan6100DRC, 激光剥蚀系统为德国 Lamda Physik 公司的 GeoLas2005 深紫外(DUV)193 mm ArF 准分子(excimer)激光剥蚀系统。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,激光斑束直径为 32 μm。 参考物质为美国国家标准技术协会研制的人工合成 硅酸盐玻璃 NIST SRM610,锆石 U-Pb 年龄的测定 采用国际标准锆石 91500 作为外标进行校正,每隔 5个分析点测一次标准,保证标准和样品的仪器条 件一致。在样品分析前后以及每隔 20 个测点各测 一次 NIST SRM610, 以 Si 做内标, 测定锆石中的 U、Th、Pb 含量。详细的分析流程及有关参数见 Yuan 等(2004)。元素的比率和元素的含量用 GLITTER(4.0版)来处理,年龄的计算和谐和图用 ISOPLOT(3.0版)(Ludwing, 2003)来完成。同位 素比值的相对误差和年龄值的绝对误差均为 1σ,采 用²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄,其加权平均值具有 95%的置信 度。

全岩主、微量元素:用于全岩主量元素和微量元 素分析的样品,无污染粉碎至 200 目以下。主量元 素由国土资源部西南矿产资源监督检测中心用 X 荧光光谱法测试,所用仪器为 PANalytical 生产的 AXIOS 荧光光谱仪,误差小于 5%,其中 FeO 用容 量法分析,烧失量是将样品加热到 1000℃时获得; 微量元素分析由中国地质科学院国家地质实验测试 中心完成,采用 Teflon 溶样罐进行溶样,再经过 ICP-MS 进行测定,相对标准偏差优于 5%,数据处 理采用 Geokit2012 地球化学数据处理软件。

锆石原位 Lu-Hf 同位素:锆石原位 Lu-Hf 同位 素分析用 Nu Plasma 型 MC-ICP-MS 完成,激光剥蚀 系统为配备有 193 nm ArF 准分子激光器的 GeoLas 2005。在已测定过年龄的锆石颗粒上选择相同(似) 区域进行 Hf 同位素测试,激光束斑直径为 44 μm,剥 蚀频率为 10 Hz,具体分析方法及仪器参数详见 Yuan 等 (2008)。用¹⁷⁶Lu/¹⁷⁵Lu=0.02669 和¹⁷⁶Yb/¹⁷²Yb= 0.5886 进行 同质异位干扰校正计算测定样品的 ¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 和¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 比值。样品测定过程中以 标准 锆石 GJ-1 作为标样,并同时测定标准锆石 Penglai和91500。 ϵ_{Hf} 计算采用¹⁷⁶Lu衰变常数为 1.865 ×10⁻¹¹a⁻¹(Scherer et al., 2001),球粒陨石现今值 ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf = 0.282772 和 ¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf = 0.0332 (Blichert-Toft and Albarède, 1997);单阶段亏损地幔 Hf 模式年龄(t_{DM1})计算采用现今亏损地幔值¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷ Hf=0.28325和¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf = 0.0384(Griffin et al., 2000)。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 年代学

石溪铁矿二长花岗岩样品中的锆石多呈自形— 半自形短柱状,粒度较大(100~300 μm),无色透明,无裂缝。在阴极发光图像上(图 4),锆石显示为 强震荡环带结构,我们选取了晶形较好,环带结构清 晰的 20颗锆石进行了 20个点位的测试,测试结果 见表 1。

20颗锆石的同位素分析结果显示, 锆石的 Th 为 115×10⁻⁶~340×10⁻⁶, U 为 274×10⁻⁶~943× 10⁻⁶, Th/U 比值在 0. 23~0. 48 区间变化, 表明锆



图 4 石溪铁矿二长花岗岩中锆石 CL 图像 Fig. 4 CL images for zircons of the monzogranite from Thack Khe Fe deposit 图中圈代表打点位置,圈中数字代表点号, 圈外数字表示²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄 Circles with enclosed data indicate spots and ages of the LA-ICP-MS dating

表 1 石溪铁矿区二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of the monzogranite from Thack Khe Fe deposit

上旦	U	Th	Th/U	206 DL /238 I I	⊥1	207 DL /235 LI	⊥ 1	207 DL /206 DL	⊥ 1	$^{206}Pb/^{238}U$	⊥ 1
从亏	$(\times 10^{-6})$	$(\times 10^{-6})$		500 F D/ 500 U	⊥1σ	500 F D/ 500 U	⊥1σ	200 FD/200 FD	⊥1σ	年龄 (Ma)	± 10
1	798	277	0.35	0.0415	0.0005	0.2921	0.0119	0.0503	0.0020	262	3.1
2	695	238	0.34	0.0347	0.0006	0.3830	0.0189	0.0834	0.0047	220	3.7
3	598	188	0.31	0.0418	0.0006	0.4055	0.0222	0.0692	0.0037	264	3.5
4	530	167	0.32	0.0416	0.0007	0.3020	0.0169	0.0522	0.0029	263	4.6
5	816	295	0.36	0.0418	0.0006	0.2845	0.0147	0.0489	0.0026	264	3.8
6	912	280	0.31	0.0416	0.0005	0.2855	0.0102	0.0493	0.0018	263	3.2
7	696	225	0.32	0.0411	0.0005	0.2858	0.0122	0.0502	0.0022	259	3.2
8	552	128	0.23	0.0418	0.0006	0.3480	0.0155	0.0593	0.0026	264	3.7
9	510	146	0.29	0.0418	0.0006	0.3525	0.0200	0.0605	0.0033	264	3.9
10	438	207	0.47	0.0410	0.0006	0.3049	0.0152	0.0538	0.0027	259	3.6
11	943	255	0.27	0.0470	0.0005	0.4166	0.0165	0.0639	0.0026	296	3.2
12	553	205	0.37	0.0406	0.0006	0.2886	0.0154	0.0508	0.0026	256	3.7
13	855	258	0.30	0.0405	0.0004	0.2892	0.0106	0.0512	0.0019	256	2.5
14	507	152	0.30	0.0399	0.0006	0.2896	0.0133	0.0521	0.0024	252	3.5
15	899	340	0.38	0.0404	0.0005	0.2849	0.0116	0.0508	0.0021	256	3.2
16	726	291	0.40	0.0410	0.0006	0.2837	0.0120	0.0497	0.0021	259	3.6
17	664	274	0.41	0.0402	0.0005	0.2906	0.0120	0.0519	0.0022	254	3.0
18	573	228	0.40	0.0403	0.0005	0.2916	0.0128	0.0522	0.0024	254	3.3
19	274	132	0.48	0.0394	0.0008	0.3186	0.0234	0.0579	0.0042	249	5.2
20	406	115	0.28	0.0423	0.0006	0.3506	0.0176	0.0598	0.0031	267	3.7

石为典型的岩浆成因(吴元保和郑永飞,2004)。从 表1可见,石溪铁矿黑云母二长花岗岩中20颗锆石 的²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄位于220~296 Ma之间,在年龄 协和图(图5)上,7个分析点(图中虚线部分)位于一 致曲线的下方,可能是少量放射成因 Pb 丢失的结 果,其余13个分析点的²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 年龄加权平均值 为257.8±2.2 Ma(95%置信度,MSWD=1.2),该 年龄与笔者采自石溪铁矿矿区北部石溪湾的二长花 岗岩的 U-Pb 测年结果253.4±1.5 Ma(Shi et al., 2015)相近,应代表了样品的形成年龄。

4.2 主、微量元素地球化学

岩石主量和微量元素分析结果见表 2。石溪铁 矿区二长花岗岩的主量元素组分具有如下特征:① 岩石较富硅,SiO₂范围为 69.82%~71.8%,平均为 70.4%;贫镁,MgO为 0.79~1.01;贫钙,CaO为 1.87~2.09。②亚碱质,K₂O+Na₂O为 3.52%~ 4.7%,且相对富钾,K₂O/Na₂O值为 1.29~1.92; 赖特碱度率 AR = 2.56~2.8,平均 2.7,在K₂O-SiO₂图解上,所有样品均落入高钾钙碱性系列(图 6a)。③弱过铝质,Al₂O₃为 12.18%~13.6%,平均



图 5 石溪铁矿二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄协和图及均值年龄

Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams and weighted ages of the monzogranite from Thack Khe Fe deposit

微量元素(×10 ⁶)分析结果										
Table 2 Major ($\%$) , trace and rare elements ($ imes 10^{-6}$)										
analyses of	the mor	nzograni	te from	Thack K	he Fe de	eposit				
	VN12-	VN12-	VN12-	VN12-	VN12-	VN12-				
件 与	002	014	017	019	022	023				
SiO_2	70.2	69.82	70.2	70.48	70	71.8				
Al_2O_3	13.6	13.07	13.18	13.23	13.1	12.18				
Fe_2O_3	0.91	0.96	1.76	1.13	1.07	1.13				
FeO	2.94	3.17	2.52	3.08	3.09	3.09				
CaO	1.87	2.06	2.07	2.08	2.09	2.08				
MgO	0.79	0.89	0.9	0.91	0.9	1.01				
K_2O	4.34	4.52	4.66	4.68	4.7	3.52				
Na ₂ O	2.98	2.41	2.43	2.47	2.47	2.72				
Γ_1O_2	0.59	0.61	0.63	0.63	0.62	0.61				
$P_2 O_5$	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13				
MnO L OL	0.003	0.007	0.069	0.069	0.007	0.080				
TOTAL	1.02	1.00	0.95	0.90	1.34	1.23				
$K_{*}O \pm N_{2*}O$	1 34	1 52	99.479 1.66	1 68	99.347 4 7	39.000				
A/CNK	1.05	1.04	1 03	1.00	1.01	1 01				
A/ CIVIX	6 10	1.04	1.03	1.02	1.01	6.26				
W	1 67	1 10	1 17	1 16	1.30	13 7				
Mo	0.6	1.13	2 34	1.10	1.57	0.52				
Ni	7.9	10 4	11 5	14 8	10 7	10.8				
Co	4.89	8.16	8.82	8.65	7.64	7.1				
Cu	8.83	22.5	24.6	24.5	24.7	15.8				
Ph	28.8	40.6	39	39.2	39.8	32.3				
Zn	70.6	117	118	124	139	103				
Li	35.3	35.2	36.9	37.4	37.9	42				
Sc	9.67	10.5	10.9	11.3	10	10.2				
Rb	219	229	243	249	220	164				
Sr	72.5	110	111	114	105	83.9				
Ba	512	649	680	675	623	509				
Nb	11.8	13.2	13.5	13.8	12.4	11.6				
Ta	1.11	1.1	1.1	1.15	1.11	1.12				
U	4.91	5.61	5.84	5.43	4.34	4.75				
Th	24.5	24.4	24.7	23.9	22.4	20.9				
Zr	164	307	343	314	299	323				
Hf	5.11	8.16	8.89	8.34	8.02	8.59				
Cs	9.12	11	11.5	11.6	10.4	11.3				
V	36.6	48.6	50	49.8	40.8	40.5				
Cr	12.8	15.5	17	25.3	14.1	19.5				
Ga	18.9	19.3	19.9	20.3	17.7	16.4				
Υ	34.1	39.1	40.1	39.2	38.8	39				
La	41.2	38.3	38.2	38.9	42.5	35.9				
Ce	80.4	73.6	74.8	76.3	85.1	73.8				
Pr	8.77	8.68	8.8	9	9.32	8.22				
Nd	31.8	33.7	33	34.2	34.5	30.7				
Sm	6.29	7.72	7.45	7.43	7.16	6.77				
Eu	0.92	1.07	1.05	1.07	1	0.91				
Gd	6.83	7.06	6.81	7.05	7.84	7.22				
l b	1.07	1.23	1.24	1.27	1.16	1.18				
Dy	6.6 1.00	1.65	1.27	1.38	1.37	1.54				
П0 Е-	2 71	1.07	1.32	1.00	1.01	1.01				
Er T	3.71 0.56	4.91	4.18	4.8	4.22	4.39				
1 III Vh	0.00	0.00	0.04 1 10	4 22	0.02	1 27				
T.,	0.04	1.41	ч. 10 0 69	1.34	4.4 0.62	1.01				
ZBEE	192 71	101 22	190 27	19/ 50	207 22	182 20				
LREF/HRFF	6 96	5 79	6 02	6 02	6 47	5 68				
$(La/Yh)_{M}$	8 12	6 23	6 56	6 46	6 93	5 89				
δΕυ	0.43	0.44	0.44	0.45	0.41	0.40				
δCe	0.99	0.95	0.96	0.96	1.00	1.01				

石溪铁矿区二长花岗岩的主量(%)和

表 2



和 ACNK-A/NK 分类图解中的投影(b) Fig. 6 SiO₂-K₂O (a) and ACNK-A/NK (b) diagrams

for monzogranites from Thack Khe Fe deposit

为 13.06%; A/CNK 为 1.01~1.05(图 6b)。④ TFeO/MgO 值为 4.07~4.76,明显高于全球典型 的 I 型(991 个样品平均值 2.27)、S 型(578 个样品 平均值 2.38)和 M 型(17 个样品平均值 2.37)花岗 岩的 TFeO/MgO 值(Whalen et al., 1987)。

样品的 Σ REE 为 $183.8 \times 10^{-6} \sim 207.33 \times 10^{-6}$,平均为 193.51×10^{-6} ,LREE/HREE 为 5.68 ~ 6.96 ,轻稀土较为富集; $(La/Yb)_N$ 为 5.89 ~ 8.12 ,显示岩石具有较高的轻重稀土元素分馏程度。 δ Eu 为 0.4 \sim 0.45, δ Eu 显示明显负异常,稀土曲线 呈"海鸥型"(图 7a),(La/Yb)_N为 5.89 ~ 8.12 ,轻重 稀土分馏明显。全岩微量元素地幔标准化图呈现出 略向右倾的多峰谷模式(图 7b),主要富集 Rb、Th、 Pb、La、Nd、Ce、Zr,亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti。Nb、 P 的亏损说明斜长石作为熔融残留相或结晶分离相 存在,即在熔融过程中斜长石没有耗尽;Sr、P、Ti 的 亏损说明了花岗岩具有与大陆弧花岗岩相似的特 征,Zr 的富集和 Nb、Ta、Ti 的亏损表明岩浆源区岩 石中以陆壳组分为主。

4.3 锆石原位 Lu-Hf 同位素

岩浆岩的¹⁷⁶ Hf/¹⁷⁷ Hf 在流体中属不迁移元素, 因而其初始 $\epsilon_{\rm Hf}$ 值可代表岩浆岩的初始 Hf 同位素信息。锆石原位 Hf 同位素测试选取 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄较一致的 9 颗锆石进行分析,测点位置与 U-Pb 定年的部位相同,其初始¹⁷⁶ Hf/¹⁷⁷ Hf 值通过用相对应的锆石年龄进行校正。石溪铁矿黑云母二长花岗岩中 9 颗锆石的分析结果显示(表3),¹⁷⁶ Yb/¹⁷⁷ Hf 和¹⁷⁶ Lu/¹⁷⁷ Hf 比值范围分别为0.025068~0.047441和0.000839~0.001632,校正后的初始¹⁷⁶ Hf/¹⁷⁷ Hf 值为 0.282432~0.2825539, $\epsilon_{\rm Hf}(t)$ 均为负值($-2.6 \sim -6.4$),单阶段亏损地幔Hf 模式年龄($t_{\rm DM1}$)介于 1005~1166 Ma 间,二阶段Hf 模式年龄($t_{\rm DM2}$)变化范围是 1296~1505 Ma。

5 讨论

5.1 岩体的形成时代

目前对长山带岩浆岩的年代学和地球化学研究 报道很少,主要集中在北部的马江结合带及其南侧 的北长山带,包括 Ar-Ar 测年(Lan et al., 2000; Lepvrier et al., 1997, 2004; Sanematsu et al., 2011)和 U-Pb 测年 (Carter et al., 2001; Hoa et al., 2008; Liu et al., 2012; Lai et al., 2014))。 这些测年的结果显示,长山带主要岩浆活动发生在 印支期。越南 1:20万地质填图报告根据岩体和地 层的接触关系推断 Phia Bioc 杂岩体形成于晚三叠 世(DGMV, 2005)。但是,填图时并没有相关的测 年数据,也没有对接触地层的化石证据。Liu 等 (2012)报道在长山带西北角的奠边(Dien Bien)北 东地区和 Muong Lay 的西部地区, Phia Bioc 杂岩 体侵入到奠边杂岩体中, Liu 等(2012)对奠边杂岩 体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年显示, Muong Lay 西部的奠边杂岩体中辉长岩包体的结晶年龄为 276 Ma, 而奠边市北东地区的奠边杂岩体测得两组年 龄,早期的 281 Ma 被解释为包体年龄, 晚期的 254 ~202 Ma 被解释为花岗闪长岩的结晶年龄; 然而, Phia Bioc 杂岩体和奠边杂岩体具体如何侵位并没 有给于描述,且他们对 Phia Bioc 杂岩的年龄也是根 据越南 1:20 万地质填图报告推断的晚三叠世来论 述,没有可靠的数据支撑。本文研究的与石溪铁矿 相关的 Phia Bioc 杂岩体中黑云母二长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 257.8±2.2 Ma, 与 我们采自矿区北部石溪海湾的 Phia Bioc 杂岩体二 长花岗岩的 U-Pb 测年结果 253.4±1.5 Ma 在误差 范围内一致(Shi et al., 2015), 准确厘定了石溪矿 区黑云母二长花岗岩形成于晚二叠世。

5.2 岩石类型及成因

Chappell and White (1974) 按岩浆源区性质提 出 I 型、S 型花岗岩分类,1979 年又有学者进一步提 出 M 型和 A 型花岗岩分类,分别用于指示花岗岩 源岩和构造环境(Bonin, 2007)。对 I 型、S 型和 A 型花岗岩的判定已有大量文献论述,其中角闪石、堇 青石和碱性镁铁矿物的出现被认为是最有效的判别 标志(吴福元等,2007)。石溪铁矿区二长花岗岩经 CIPW 标准矿物计算,刚玉分子含量较高(0.38%~ 0.85%),副矿物主要是紫苏辉石、磁铁矿、钛铁矿和 磷灰石(<0.3%)。从岩石矿物角度来看,石溪铁矿 黑云母二长花岗岩应不是S型。全岩地球化学特征 表明,石溪铁矿区二长花岗岩具有 A 型花岗岩的特 征:①岩石富硅贫镁钙,弱过铝质,TFeO/MgO 值与 澳大利亚 A 型花岗岩的特征基本一致。②稀土元 素球粒陨石标准化模式图为典型的 A 型花岗岩特 有的海鸥式,具强负 Eu 异常(图 7a)。③在原始地

表 3 石溪铁矿区二长花岗岩锆石 Hf同位素组成

Table 3 Zircon Hf isotope composition of the monzogranite from Thack Khe Fe deposit

点号	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	1σ	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	1σ	$^{176}{ m Yb}/^{177}{ m Hf}$	1σ	年龄	176 Hf /177 Hf	(t)	1σ	$t_{\rm DM1}$	$t_{\rm DM2}$	$f_{ m Lu/Hf}$
							(Ma)	··· 111/ ··· 111 _i	$\varepsilon_{\rm Hi}(\iota)$		(Ma)	(Ma)	
1	0.282537	0.000008	0.001632	0.000012	0.045206	0.000234	258	0.282529	-2.9	0.28	1029	1315	-0.95
2	0.282538	0.000009	0.001224	0.000010	0.034373	0.000171	258	0.282532	-2.8	0.30	1016	1309	-0.96
3	0.282525	0.000008	0.001119	0.000009	0.031666	0.000303	258	0.282520	-3.3	0.27	1032	1334	-0.97
4	0.282541	0.000008	0.001598	0.000012	0.047441	0.000342	258	0.282533	-2.8	0.27	1022	1307	-0.95
5	0.282545	0.000008	0.001157	0.000006	0.033444	0.000198	258	0.282539	-2.6	0.27	1005	1296	-0.97
6	0.282528	0.000009	0.001476	0.000017	0.041466	0.000312	258	0.282521	-3.2	0.32	1038	1332	-0.96
7	0.282439	0.000009	0.001564	0.000043	0.044600	0.001060	258	0.282432	-6.4	0.33	1166	1505	-0.95
8	0.282493	0.000008	0.000839	0.000003	0.025068	0.000115	258	0.282489	-4.3	0.27	1068	1393	-0.97
9	0.282533	0.000007	0.001207	0.000010	0.033789	0.000140	258	0.282527	-3.0	0.25	1023	1320	-0.96



Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements spider diagrams (b) for monzogranites from Thack Khe Fe deposit (normalization values after Sun and McDonough, 1989)

幔蛛网图(图 7b)上, Ba、Sr-P和 Eu-Ti 3 个明显的 低谷也是 A 型花岗岩的判别标志。④Ga/Al 值为 $2.5 \times 10^{-4} \sim 2.89 \times 10^{-4}$,平均 2.7×10^{-4} ,略大于 A 型花岗岩下限值的 2.6×10^{-4} (Whalen et al., 1987);HFSE 元素含量高,元素组合(Zr+Nb+Ce +Y)=432.9×10⁻⁶~471.4×10⁻⁶,除了一个样品 (VN12-002)具有较低值(290.3×10⁻⁶)外,明显大 于 A 型花岗岩下限值的 350×10^{-6} (Whalen et al., 1987)。在(K₂O+Na₂O)/CaO-(Zr+Nb+Ce+Y) 和 $10^4 \times Ga/Al$ -(Zr+Nb+Ce+Y)判别图解(图 8a、 b)中,主要落入 A 型区域。综合这些因素,石溪铁 矿区黑云母二长花岗岩为铝质 A 型花岗岩。

对于 A 型花岗岩的成因,至今众说纷纭,主要 有岩浆混合(Picher, 1983)、幔源基性岩浆分异 (Eby, 1992)和地壳物质的部分熔融(Whalen et al.,1987; Creaser et al.,1991)等。石溪铁矿区黑 云母二长花岗岩的锆石原位 Lu-Hf 同位素分析结 果显示, ε_{Hf}(t) <0,表明样品最有可能为古老地壳 物质的部分熔融形成;微量元素 Zr 的富集和 Nb、 Ta、Ti 的亏损表明岩浆源区岩石中以陆壳组分为 主。¹⁷⁶ Lu/¹⁷⁷ Hf 比值均小于 0.002(表 3),说明锆石 形成后具有较低的放射性成因 Hf 累积。初始 ¹⁷⁶ Hf/¹⁷⁷ Hf 值变化范围很小(0.282432 ~ 0.2825539),说明成岩过程中组分较单一,因此岩体 不可能是壳幔岩浆的混合。在区分 A 型花岗岩与 分异的 I 型花岗岩的有关判别图上,岩体样品点主 要落在 A 型花岗岩区(图 8a、b)。综上所述,石溪铁 矿区黑云母二长花岗岩应该形成于古老下地壳岩浆 岩的部分熔融。

A型花岗岩的形成与伸展的构造背景有关,是 判断伸展背景的重要岩石学标志,因为该类型花岗 岩所要求的较高温度条件和较浅的岩浆形成深度大 多只有在这一背景下才能得到满足(吴福元等, 2007)。石溪铁矿黑云母二长花岗岩为A型花岗岩 意味着其产于伸展的构造背景。在 R₁-10⁴ Ga/Al 和 Nb-Y-Ga 判别图上,石溪铁矿黑云母二长花岗岩 均投在了 A₂的范围(图 8c、d),表明其与地幔柱或热 点所导致的大陆裂谷或板内岩浆作用无关。

需要指出的是,对于马江结合带南侧的北长山 带岩浆岩的成因与构造背景虽有争论,但从二叠纪 到三叠纪,总体表现为从特提斯马江洋壳向长山带 陆壳之下俯冲到华南与印支陆块碰撞(Lan et al., 2000; Hoa et al., 2008; Liu et al., 2012; Kamvong et al., 2014)。Hoa 等(2008)对长山带 二叠一三叠纪中酸性火山-侵入岩系进行了年代学 及地球化学统计研究,证实长山带多期的岩浆活动 是古特提斯洋壳沿马江结合带俯冲到印支陆块边缘 的产物,并把期内岩浆演化分为3个阶段:马江洋向 南(南西)俯冲(晚二叠世一早三叠世)形成钙碱性火 山-侵入岩、华南-印支陆块同碰撞(早三叠世)形成 过铝质花岗岩及后碰撞(中三叠世)形成碱性火山-侵入岩系。

本文数据表明,岩体就位于晚二叠世,对应于马 江洋向南(南西)俯冲的背景。因此我们认为该岩体





应形成于与俯冲有关的弧后盆地伸展背景(图 9)。

5.3 岩浆成矿作用

石溪铁矿形成于 Phia Bioc 杂岩体的黑云母二 长花岗岩体与中一下泥盆统及石炭系一二叠系碳酸 盐岩的外接触带,岩体外接触带形成矽卡岩和大理 岩,这些碳酸盐岩的岩石化学性质活泼,容易分解, 物理性质较脆,特别是硅化后更容易破裂,渗透性更 强,有利于含矿溶液流通并被交代形成砂卡岩矿床。 从矿区地质图及钻探剖面图(图 2)上可以看出, Phia Bioc 杂岩体的黑云母二长花岗岩与成矿具有 直接的联系,岩体为成矿提供了热液条件,矿区处于 长山带中部大江断裂系,为成矿的热液流体提供了 很好的通道,虽然不排除部分矿床的铁来自围岩,但 大多数矿床的铁质是岩浆热液带入的。从光片分析 结果的铁矿形成具有3个阶段,早期形成的磁铁矿、 钛铁矿-赤铁矿及干砂卡岩矿物,说明岩浆中的挥发 组分在岩体顶部及边缘集中,气-液高温气态与围岩 反应;中期形成矿物包括磁铁矿、赤铁矿、金红石、阳 起石和碳酸盐,是流体温度降低沿接触带上涨的接 近临界状态的富铁流体与围岩(包括干砂卡岩)交代 形成湿砂卡岩矿物,这也是铁矿形成的主要阶段;晚 期则有磁铁矿、赤铁矿、石英和铜铅锌硫化物出现, 细脉的硫化物切穿早中期矿体,随着砂卡岩的破坏 分解,磁铁矿和硫化物开始大量分解,从而形成磁铁



图 9 长山带晚古生代构造-岩浆演化图及石溪铁矿区岩浆岩成因示意图 Fig. 9 The schematic map for the late Paleozoic "ocean-arc-basin" system in the Truong Son belt, also showing genesis of monzogranites in the Thack Khe Fe deposit 矿床。

6 结论

(1)石溪铁矿区黑云母二长花岗岩体成岩年龄 为 257.8±2.2 Ma(253~258 Ma),属于晚二叠世。 地球化学上具有高硅、贫钙镁、弱过铝质,TFeO/ MgO 值为 4.07~4.76,明显富集 Rb、Th、Pb、La、 Nd、Ce、Zr,亏损 Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti,稀土配分模 式为海鸥式,具强负 Eu 异常,属于铝质 A 型花岗 岩。

(2)石溪铁矿区黑云母二长花岗岩体具有负的 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值(-2.6~-6.4),二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2})变化为1296~1505 Ma,微量元素富集 Zr,亏 损 Nb、Ta、Ti,说明岩体主要形成于古老下地壳岩 浆岩的部分熔融。

(3)综合区域构造-岩浆演化研究结果,认为沿 石溪铁矿区的 Phia Bioc 二长花岗岩应该形成于马 江洋壳向长山带(陆块)下俯冲所导致的弧后伸展盆 地中。

(4)石溪铁矿的形成与 Phia Bioc 杂岩体中黑云 母二长花岗岩紧密相关,矿体的形成包括早期的干 矽卡岩、中期的湿砂卡岩和晚期的石英硫化物 3 个 阶段。A型花岗岩及其成矿作用的进一步研究都具 有重要的理论和实际意义。

致谢:本文研究的野外工作得到越南河内矿业 地质大学 Le Hai An 教授、Nguyen Quang Luat 教 授、Tran My Dung 副教授和 Nguyen Minh Quyen 先生的帮助,在此表示衷心感谢。感谢审稿专家对 本文提出的宝贵意见!

注 释

- 林方成,等.2010.三江-湄公河成矿带地质背景和成矿规律对比研究.
- ❷ 译自 Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region, Vol. 6, 2006, Viet Nam.

参考文献

- 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.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释 的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.
- 吴福元,李献华,杨进辉,郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报,23(6):1217~1238.
- Backhouse D. 2004. Geological Setting, Alteration and Nature of Mineralization at the Phu Kham Copper-Gold Deposit. Laos PDR. CODES. University of Tasmania, Hobart, 75.

- Blichert-Toft J, Albarède F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the manle-crust system. Earth and Planetary Science Letters, 148: 243~258.
- Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks evolution of a concept problems and prospects. Lithos, 97(1~2): 1~29.
- Carter A, Roques D, Bristow C, Kinny P. 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. Geology, 29: 211~214.
- Chappell B W, White A. 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8(2): 173~174.
- Creaser R A, Prich R C, Wormald R J. 1991. A-type granites revisited: Assessment of a residual-source model. Geology, 19: 163~166.
- DGMV (Department of Geology and Minerals of Vietnam). 2005. Geology and mineral resources map of Muong Kha-Son La sheet, scale 1:200 000, with the explanatory note, Hanoi.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20: 641~644.
- Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, Jachson S E, Van Achterbergh E, O'Reilly S Y, Shee S R. 2000. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 64(1): 133~147.
- Hoa T T, Anh T T, Phuong N T, Pham T D, Tran V A, Izokh A E, Borisenko A S, Lan C Y, Chung S L, Lo C H. 2008. Permo-Triassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indochina. Comptes Rendus Geoscience, 340: 112~126.
- Kamvong T, Khin Zaw, Meffre S, Maas R, Stein H, Lai C K. 2014. Adakites in the Truong Son and Loei fold belts, Thailand and Laos: genesis and implications for geodynamics and metallogeny. Gondwana Research, 26 (1): 165~184.
- Khin Zaw, Meffre S, Lai C K, Santosh M, Burrett F C, Graham I T, Manaka T, Salam A, Kamvong, T, Cromie P. 2014. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia-A review and contribution. Gondwana Research, 26 (1): 5~30.
- Khositanont S, Panjasawatwong Y, Ounchanum P, Thanasuthipitak T, Khin Zaw, Meffre S. 2008. Petrochemistry and zircon age determination of Loei-Phetchabun volcanic rocks. In: Chutakositkanon V, Sutthirat C, Charoentitirat T, eds. International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), 4th IGCP 516 and 5th APSEG, Bangkok, 272~278.
- Lai C K, Meffre S, Crawford A J, Khin Zaw, Xue Chuandong, Halpin J. 2014. The Western Ailaoshan volcanic belts and their SE Asia connection: a new tectonic model for the Eastern Indochina Block. Gondwana Research, 26 (1): 52~74.
- Lan C Y, Chung S L, Shen J S, Shen J J S, Lo C H, Wang P L, Hoa T T, Thanh H H, Mertzman S A. 2000. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of granitic rock from northern Vietnam. Journal of Asian Earth Sciences, 18(3), 267~280.

- Lepvrier C, Maluski H, Vuong N V, Roques D, Axente V, Rangin C. 1997. Indosinian NW-trending shear zones within the Truong Son belt (Vietnam): ⁴⁰ Ar-³⁹ Ar Triassic ages and Cretaceous to Cenozoic overprints. Tectonophysics, 283: 105~ 127.
- Lepvrier C, Maluski H, Vu V T, Leyreoup A, Phan T T, Nguyen V V. 2004. The Early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son Belt and Kontum Massif): implications for the geodynamic evolution of Indochina. Tectonophysics, 393: 87~ 118.
- Lepvrier C, Nguyen V V, Maluski H, Phan T T, Tich V V. 2008. Indosinian tectonics in Vietnam. Comptes Rendus Geoscience, 340: 94~111.
- Liu Junlai, Tran Mydung, Tang Yuan, Nguyen Quangluat, Tran Thanhhai, Wu Wenbin, Chen Jiafu, Zhang Zhaochong, Zhao Zhidan. 2012. Permo-Triassic granitoids in the northern part of the Truong Son belt, NW Vietnam: Geochronology, geochemistry and tectonic implications. Gondwana Research, 22: 628~644.
- Ludwing K R. 2003. User's manual for Isoplot 3. 0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 1~70.
- Manaka T, Khin Zaw, Meffre S, Vasconcelos P, Golding S, Cairns C. 2014. Geology, geochronology and geochemistry of the Ban Houayxai epithermal Au-Ag deposit in the Northern Lao PDR: relationship to the Early Permian magmatism of the Truong Son Fold Belt. Gondwana Research, 26 (1): 185~197.
- Metcalfe I. 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys. Australian Journal of Earth Sciences, 43: 605~623.
- Picher W S. 1983. Granite Type and Tectonic Environment: Mountain Building Processes. London: Academic Press, 19~ 40.
- Sanematsu K, Murakami H, Duangsurigna S, Vilayhack S, Duncan R A, Watanabe Y. 2011. ⁴⁰ Ar/³⁹ Ar ages of granitoids from the Truong Son fold belt and Kontum massif in Laos. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 106: 13~25.
- Scherer E, Munker C, Mezger K. 2001. Calibration of the lutetiumhafnium clock. Science, 293: 683~687.

- Shi Meifeng, Lin Fangcheng, Fan Wenyu, Deng Qi, Cong Feng, Tran Mydung, Zhu, Huaping, Wang Hong. 2015. Zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. Journal of Asian Earth Sciences, 101: 101~120.
- Sone M, Metcalfe I. 2008. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: new insights for Paleo-Tethyan closure and implications for the Indosinian orogeny. Geoscience, 340: 166 \sim 179.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in Ocean Basins. London: Geological Society of London Special Publications, 42: 313~345.
- Tran T H, Anh T T, Phuong N T, Dung P T, Anh T V, Izokh A E, Borisenko A S, Lan C Y, Chung S L, Lo C H. 2008. Permo-Triassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indochina. Geoscience, 340: 112~ 126.
- Tran T H, Khin Zaw, Halpin J, Manaka T, Lee Y, Le V H, Dinh D H, Tran H T, Khin Zaw, Halpin J, Manaka T, Meffre S, Lai Chunkit, Lee Y J, Le V H, Dinh S. 2014. The Tam Ky-Phuoc Son shear zone in Central Vietnam: tectonic and metallogenic implications. Gondwana Research, 26 (1): 144~ 164.
- Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contrib. Mineral. Petrol., 95: 407~419.
- Yuan H L, Gao S, Liu X M, Li H M, Gunther D and Wu F Y. 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. Geoanalytical and Geostandard Newsletters, 28 (3): 353~370.
- Yuan H L, Gao S, Dai M N, Zong C L, G nther D, Fontaine G H, Liu X M, Diwu C R. 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS. Chemical Geology, 247: 100~118.

Geochemical Characteristic, Zircon U-Pb Age and Hf Isotopic Compositions of Monzogranites from the Thack Khe Iron Deposit, Vietnam

SHI Meifeng, ZHU Huaping, LIN Fangcheng, FAN Wenyu, WANG Hong, Deng Qi, CONG Feng Chengdu Center, China Geology Survey, Chengdu, 610081

Abstract

The Thack Khe iron deposit, located in the Truong Son metallogenic belt of the northeast of the Indochina Block, is the largest skarn-related magnetite deposit in Southeast Asia. In this study, we performed zircon U-Pb geochronology, geochemistry and zircon Lu-Hf isotope analyses on biotite monzogranite related with the metallogenesis of the Thack Khe iron deposit. The geochemical results show that the biotite monzogranite rock is enriched in Si (SiO₂=69.82% to 71.8%) and depleted in Ca and Al, with TFeO/MgO=4.07 to 4.76 and slightly peraluminous (A/CNK=1.01 to 1.05). Enrichment of Rb, Th, Pb, Zr and depletion of Ba, Sr-P, Eu-Ti indicate the rock belongs to the aluminium A-type granite. The zircon U-Pb dating indicates that the biotite monzogranite of Phia Bioc complex from the Thack Khe iron deposit emplaced at 257.8±2.2 Ma, i. e. the Late Permian. The initial Hf isotope ratios ($\varepsilon_{Hf}(t) = -2.6$ to -6.4) responds to t_{DM2} of 1296 Ma to 1505 Ma. The geochemical characteristic and Hf isotope suggest that the biotite monzogranite from the Phia Bioc complex in the Thack Khe iron deposit formed by the partial melting of the lower crustal igneous rock in the tectonic setting of a back-arc extension related to subduction of the Tethyan Majiang Ocean towards the Truong Son metallogenic zone.

Key words: zircon U-Pb age; geochemistry; Hf isotope; Thack Khe iron deposit; Vietnam; Truong Son belt