

老挝琅勃拉邦构造带石英闪长岩锆石 U-Pb 定年： 古特提斯洋东向俯冲启示

郭林楠, 侯林, 聂飞, 刘书生, 徐思维, 张启明

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要:老挝琅勃拉邦构造带位于印支板块西部,是东南亚特提斯域内的重要构造带之一。该地区多期次的岩浆活动记录了多阶段的构造岩浆演化,但与古特提斯洋闭合过程相关的岩浆活动报道相对较少,导致与该过程相关的构造-岩浆-成矿作用关系理解不清。本文在野外地质观察和岩相学研究的基础上,对老挝琅勃拉邦地区石英闪长岩开展了锆石 U-Pb LA-ICP-MS 定年,分析结果表明,石英闪长岩结晶年龄为 260.5 ± 1.8 Ma,表明琅勃拉邦构造带存在中晚二叠世岩浆活动。结合前人研究结果,本文认为该中酸性侵入体很可能是古特提斯洋板片东向俯冲,难河-沙缴弧后盆地关闭过程中岩浆活动的产物,且为琅勃拉邦构造带向南连接至难河-程逸结合带提供了新资料。

关键词: 锆石 U-Pb 定年;琅勃拉邦构造带;石英闪长岩;古特提斯洋

中图分类号: **文献标识码:** A

东南亚地区地处欧亚板块、太平洋板块和印度板块的交汇处,是我国西南三江特提斯构造域向南的延伸,经历了晚古生代-中生代古特提斯构造演化和新生代大陆碰撞造山的叠加作用,构造演化和岩浆活动相对复杂^[1-5](图1a)。老挝琅勃拉邦构造带位于印支板块西部,为一个 NNE-NE 向构造带,带内出露大量中基性火山岩、火山碎屑岩和少量中酸性侵入岩。琅勃拉邦构造带两侧分别为思茅-彭世洛地块和黎府弧盆系,共同组成了中南半岛重要的铜金多金属成矿带——老挝琅勃拉邦-泰国黎府成矿带(图1b),带内主要产出斑岩-矽卡岩型铜金矿、浅成低温热液型金银矿和造山型金矿^[6-9]。由于基础地质研究薄弱,目前对于琅勃拉邦构造带的演化及其向南北延伸问题还存在争议,制约了东南亚特提斯构造演化与成矿研究。已有研究表明,琅勃拉邦构造带西南的难河-程逸结合带内也发育与之类似的基性-中性火山岩和火山碎屑岩^[10-12],但两者是否具有对比性仍缺乏成岩年代证据。本研究首次发现了琅勃拉邦构造带内的石英闪长岩,并用于锆石 U-Pb 定年,相对于锆石粒度较小的火山岩和火山碎屑岩更具优势。因此,本

研究试图通过石英闪长岩的锆石 U-Pb 定年揭示老挝琅勃拉邦构造带晚古生代-中生代大地构造演化与古特提斯洋的俯冲、碰撞、增生及其成矿作用的关系,并为琅勃拉邦构造带向南连接问题提供新资料。

1 区域地质背景

老挝琅勃拉邦构造带地处中南半岛中部,大地构造位置处于印支板块西部,呈 NE-NNE 向贯穿老挝琅勃拉邦-泰国黎府成矿带(图1b)。该成矿带从老挝北部琅勃拉邦向南经巴莱延伸至泰国中北部黎府和碧差汶,南北长约 800km,东西宽近 200km,东、西分别以莫边府-黎府缝合带和难河-程逸缝合带为界^[13-14](图1a)。该成矿带自晚石炭世至三叠纪经历了多期次构造-岩浆活动和相关的铜-金-银多金属成矿事件^[4,6]。

琅勃拉邦构造带内发育有大量晚古生代-中生代枕状玄武岩、安山岩、辉长辉绿岩、闪长岩、火山碎屑岩等中基性岩浆岩^[10-11,15-16](图1b),带内发育有以含金方解石大脉为特征的帕奔造山型金矿床^[17]。其西南部难河-程逸结合带则分布一套

收稿日期: 2019-10-21; 改回日期: 2020-01-02

作者简介: 郭林楠(1989-),男,博士,工程师,从事地质矿产研究工作。E-mail: linnanguo@163.com

资助项目: 本研究得到中国地质调查局地质调查项目“东南亚大型锡铜金矿资源基地评价”(DD2019444)、“老挝、柬埔寨及邻区矿产资源潜力评价”(DD20160107)的资助。

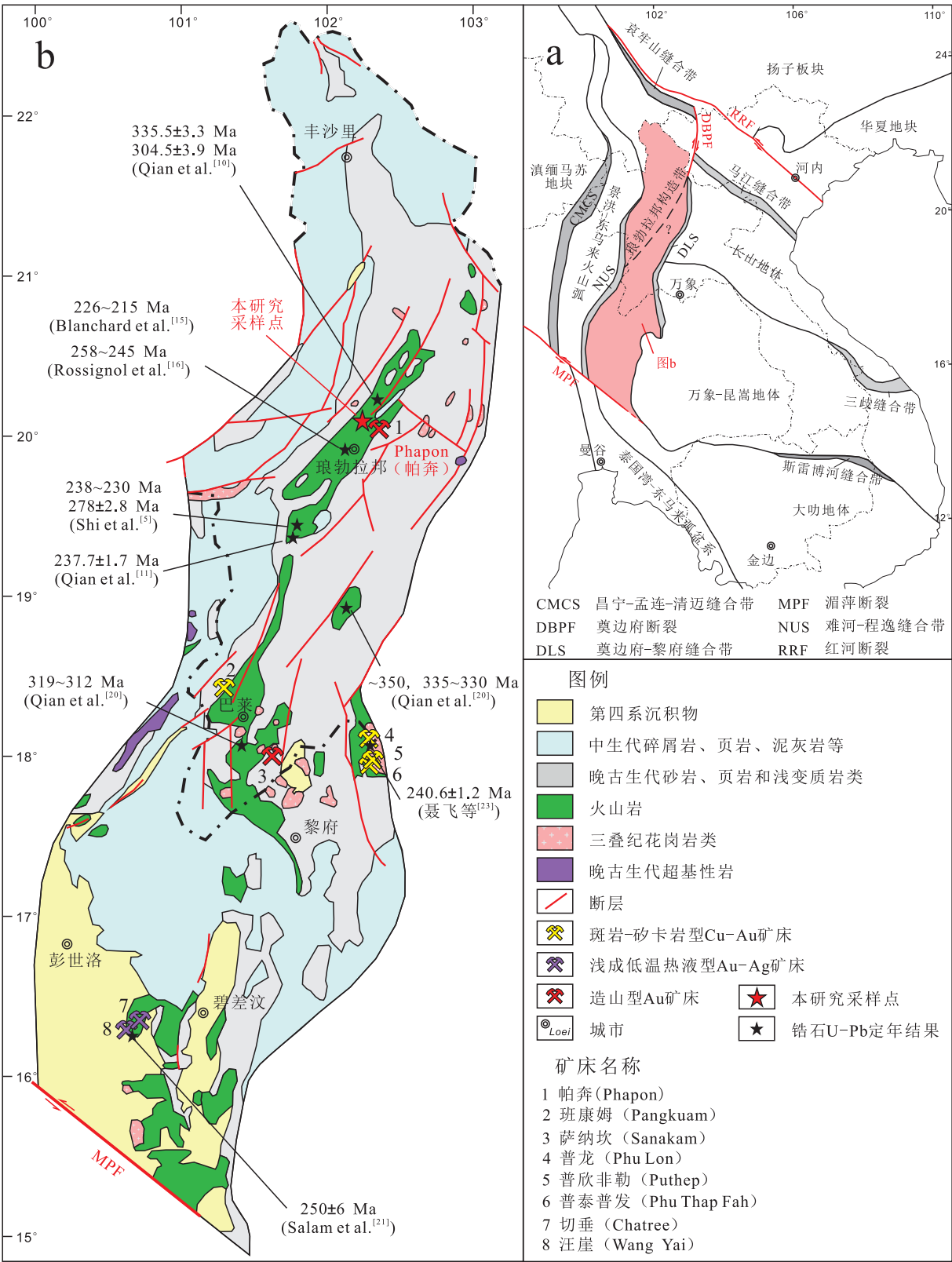


图1 a. 老挝及邻区大地构造单元划分图;b. 琅勃拉邦-黎府成矿带地质矿产简图(据文献[1, 17]修编)

Fig. 1 (a) Tectonic units of Laos and neighboring areas, (b) simplified geological map of the Luang Prabang-Loei metallogenic belt

由洋岛玄武岩、弧后盆地玄武岩、岛弧玄武岩、安山岩及蛇纹岩、橄榄岩等组成的二叠—三叠纪镁铁质—超镁铁质岩^[15]。琅勃拉邦构造带西北侧属思茅—彭世洛地块,主要由弧后前陆盆地组成。该盆地主要发育晚古生界砂岩、页岩、浅变质岩类,三叠系碎屑岩和碳酸盐岩,和中侏罗世红色碎屑岩^[18],该盆地内仅分布少量铜金矿点。琅勃拉邦构造带南侧为黎府弧盆系,并可由西向东分为黎府蛇绿混杂岩带、黎府—沙拉武里火山弧带两个亚带;黎府蛇绿混杂岩带发育一套由洋脊玄武岩、岛弧火山岩和硅质岩组成的晚泥盆世—晚石炭世蛇绿混杂岩,以及一套安山质—流纹质火山岩/火山碎屑岩^[19-20],发育泰国切垂浅成低温热液型金银矿^[21];黎府—沙拉武里火山弧带则是难河—程逸洋盆二叠纪—中三叠世俯冲在碧差汶和黎府一带形成的岛弧火山岩带,发育中酸性侵入岩及相关斑岩—矽卡岩型铜金矿床^[22-23]。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品特征

本研究采集了琅勃拉邦构造带中部的石英闪长岩样品(图2),采样点位于老挝琅勃拉邦市东北部约30km处(图1b)。石英闪长岩呈灰白—灰绿色,块状构造,半自形粒状结构,表面存在一定程度的风化(图2a)。主要矿物组成包括斜长石(50%)、钾长石(30%)、石英(15%)和角闪石(5%)。斜长石呈自形—半自形短柱状,粒径多在0.1~0.8mm,可见明显的聚片双晶,部分蚀变为绢云母(图2b,c);钾长石多为半自形—他形短柱状,粒径约0.2~1.0mm,绢云母化蚀变较明显(图2c);石英为他形粒状,粒径多为0.1~0.5mm,部分可见波状消光(图2b);角闪石为长柱状或粒状,粒径约0.1~0.3mm,可见六边形截面和角闪石式解理(图2d),多呈集合体状分布。

2.2 分析测试方法

锆石分选、制靶和阴极发光照相在广州市拓岩检测技术有限公司完成。将石英闪长岩样品碎至100目,在双目镜下仔细挑选锆石单矿物约1000粒,并挑选晶形相对完整的锆石固定在样品靶上。在偏光显微镜下对靶上的锆石进行透射光和反射光照相,镀膜后进行阴极发光(CL)照相。

锆石U-Pb同位素分析在武汉上谱分析科技有限责任公司完成。激光剥蚀电感耦合等离子体质

谱仪(LA-ICP-MS)型号为Agilent 7700e,由COMPexPro 102 ArF 193 nm准分子激光器和Micro Las光学系统组成。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度。该仪器的参数、测试流程、测试精度和测试标准样品等参见文献^[24]。对锆石U-Pb分析的同位素数据离线处理采用软件ICPMSDataCal^[25]完成。锆石样品的U-Pb同位素测试结果通过Isoplot 3.0软件完成年龄谐和图绘制和年龄加权平均计算。

3 分析结果

3.1 锆石阴极发光图像特征

锆石的阴极发光图像显示锆石内部组成较为均匀,少见或未见继承锆石(图3),可见清晰的岩浆生长环带,表明其为岩浆成因锆石。锆石发光强弱不一,颜色从暗黑色到亮白色均有,这与其所含放射性物质的含量有关。一般放射性元素含量越多,颜色越暗^[26]。锆石以自形—半自形为主,长度多在100~200 μm ,长宽比值在1:2~1:1之间(图3)。

3.2 锆石LA-ICP-MS U-Pb测试结果

本文选取了25颗不同的锆石进行LA-ICP-MS U-Pb测试分析工作,结合透反射照片,避开有裂隙和包裹体的位置。测试分析结果显示数据谐和度较高,说明不存在Pb丢失的情况。25个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄在257 Ma~1962 Ma之间(图4a,b),Th含量为169.7~1486.0 ppm,U含量为430.7~6373.9 ppm,Th/U比值为0.11~1.5,符合岩浆锆石的特征。其中10个最年轻的测点结果相对集中,加权平均年龄为 260.5 ± 1.8 Ma(MSWD = 1.3;图4c,d),这代表石英闪长岩的结晶年龄。

4 讨论

成岩年代是研究岩浆事件和区域构造演化的关键和突破口。老挝琅勃拉邦构造带内石英闪长岩的锆石的年龄数据表明其内的锆石较为复杂,具有至少四个阶段的年龄值,分别为~1860 Ma、~440 Ma、~330 Ma和~260 Ma(图4b)。锆石阴极发光图像显示其具有清晰的岩浆生长环带(图3),且Th/U比值大于0.1(表1),表明其具有典型的岩浆锆石成因。另外,锆石样品未显示明显的核边结构,说明年龄较老的锆石是岩浆上升过程中捕获的锆石。经过综合分析,我们认为琅勃拉邦石英闪长岩的形成时代为 260.5 ± 1.8 Ma,而捕获的岩浆锆石表明该地区经历过~1860 Ma、~440 Ma和~330 Ma的岩浆活动。

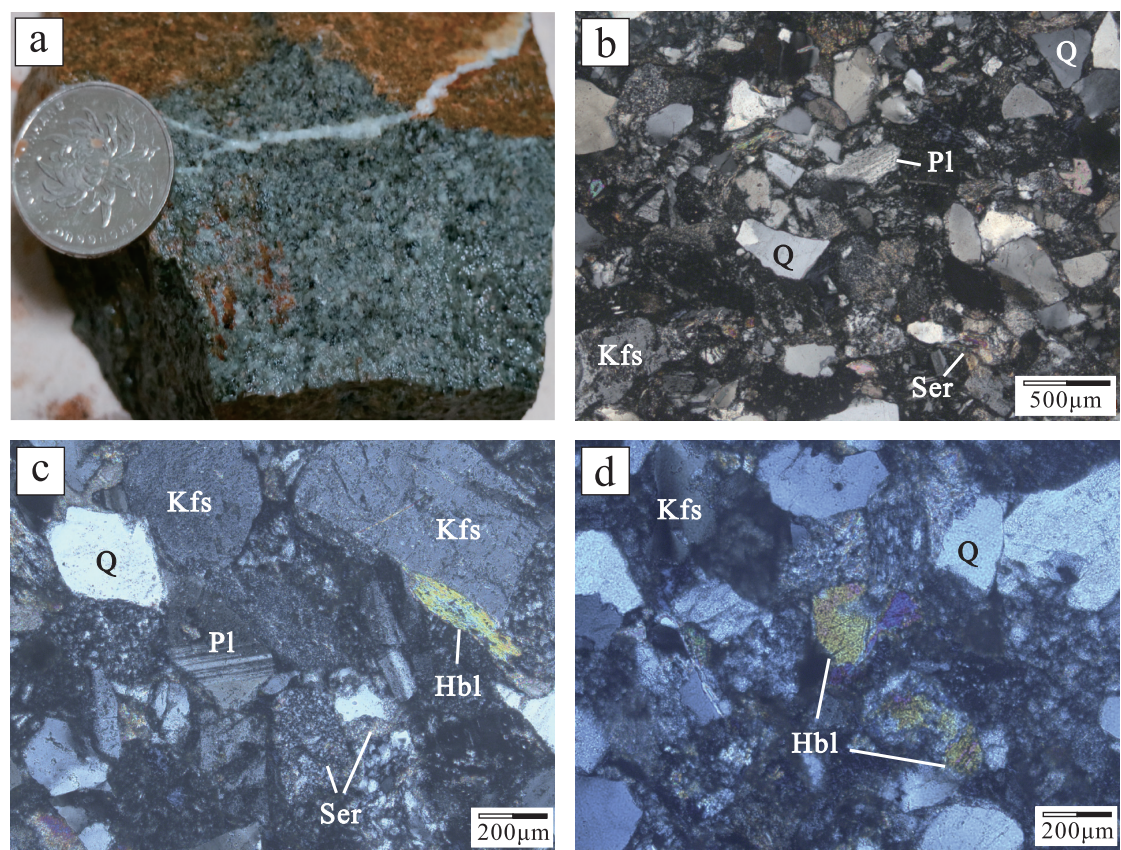


图 2 石英闪长岩手标本及镜下特征

a. 石英闪长岩手标本;b. 中细粒不等粒结构;c. 部分长石蚀变为绢云母;d. 半自形角闪石。Hbl-普通角闪石;Kfs-钾长石;Pl-斜长石;Q-石英;Ser-绢云母

Fig. 2 Typical deformation, alteration and mineralization in Phapon gold deposit

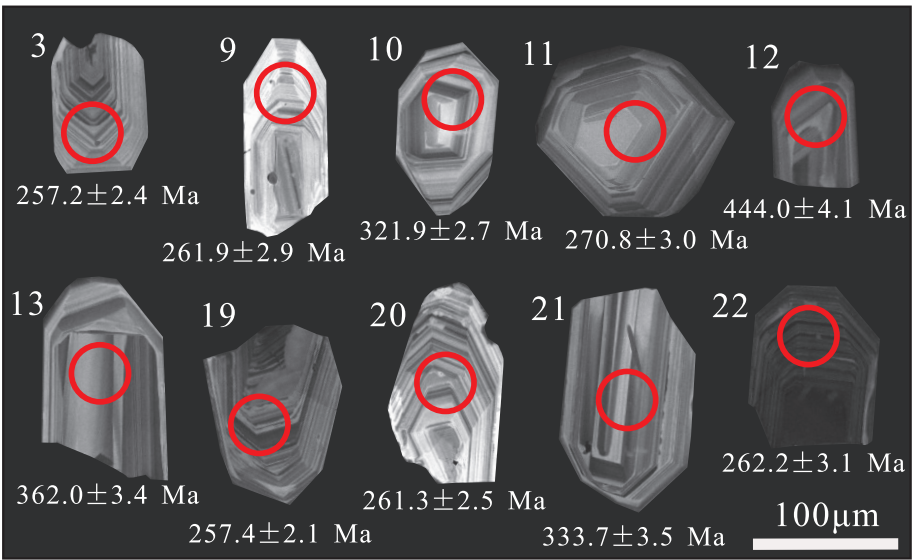


图 3 石英闪长岩中典型锆石阴极发光 (CL) 图像

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images for typical zircons from the quartz-diorite

表 1 老挝琅勃拉邦石英闪长岩体中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb isotope dating results of zircon of the quartz diorite from Luang Prabang, Laos

测点号	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄				谐和度
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	
PB-B02-01	176.12	644.55	1101.75	0.59	0.057006	0.001617	0.567047	0.015929	0.071816	0.000708	456.1	10.3	447.1	4.3	98%
PB-B02-02	155.85	907.35	1777.72	0.51	0.052626	0.002124	0.307621	0.013082	0.042042	0.000485	272.3	10.2	265.5	3.0	97%
PB-B02-03	80.05	411.35	1246.34	0.33	0.052059	0.001897	0.292390	0.010195	0.040712	0.000395	260.4	8.0	257.2	2.4	98%
PB-B02-04	86.79	549.15	841.20	0.65	0.051039	0.001992	0.289877	0.011058	0.041206	0.000503	258.5	8.7	260.3	3.1	99%
PB-B02-05	568.31	246.85	1379.83	0.18	0.114430	0.002013	5.146963	0.091798	0.324195	0.002446	1843.9	15.2	1810.2	11.9	98%
PB-B02-06	557.06	169.68	1509.40	0.11	0.114921	0.002270	5.407307	0.108674	0.339241	0.002864	1886.0	17.3	1883.0	13.8	99%
PB-B02-07	339.12	1485.98	6373.86	0.23	0.051932	0.001155	0.294319	0.006839	0.040892	0.000436	262.0	5.4	258.4	2.7	98%
PB-B02-08	171.13	360.12	2249.84	0.16	0.055505	0.001216	0.533579	0.012032	0.069423	0.000677	434.2	8.0	432.7	4.1	99%
PB-B02-09	75.53	474.24	845.40	0.56	0.052203	0.001953	0.299522	0.011252	0.041466	0.000467	266.0	8.8	261.9	2.9	98%
PB-B02-10	159.48	883.95	1084.51	0.82	0.054182	0.001553	0.384178	0.011124	0.051196	0.000444	330.1	8.2	321.9	2.7	97%
PB-B02-11	113.64	511.01	1852.56	0.28	0.054006	0.002156	0.320431	0.012290	0.042904	0.000488	282.2	9.5	270.8	3.0	95%
PB-B02-12	237.28	923.85	1342.86	0.69	0.056103	0.001432	0.554467	0.014362	0.071302	0.000674	447.9	9.4	444.0	4.1	99%
PB-B02-13	260.86	1392.14	1274.09	1.09	0.052921	0.001590	0.421494	0.011865	0.057763	0.000560	357.1	8.5	362.0	3.4	98%
PB-B02-14	434.71	209.01	960.29	0.22	0.110753	0.001905	5.176196	0.089804	0.336957	0.002431	1848.7	14.8	1872.0	11.8	98%
PB-B02-15	1071.72	703.02	2127.62	0.33	0.106017	0.001638	4.581723	0.071042	0.311717	0.002224	1745.9	13.0	1749.1	11.0	99%
PB-B02-16	38.13	218.83	430.66	0.51	0.054583	0.004873	0.317928	0.028937	0.042351	0.000965	280.3	22.3	267.4	6.0	95%
PB-B02-17	78.89	304.74	897.89	0.34	0.053588	0.001561	0.422401	0.013173	0.056722	0.000555	357.8	9.4	355.7	3.4	99%
PB-B02-18	161.32	999.85	668.44	1.50	0.056555	0.002411	0.415130	0.017738	0.052970	0.000611	352.6	12.7	332.7	3.7	94%
PB-B02-19	213.91	1144.16	3248.28	0.35	0.052583	0.001273	0.296589	0.007075	0.040734	0.000342	263.7	5.5	257.4	2.1	97%
PB-B02-20	79.46	476.54	860.90	0.55	0.053846	0.001971	0.307675	0.011181	0.041360	0.000408	272.4	8.7	261.3	2.5	95%

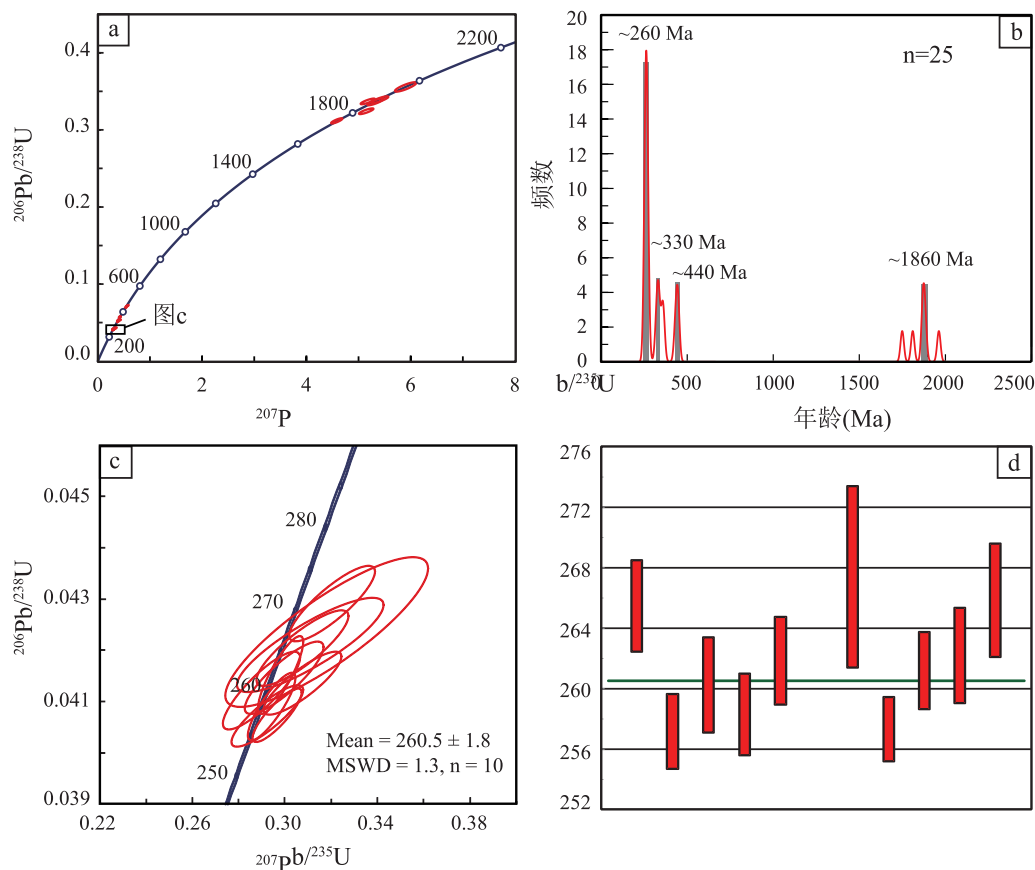


图4 锆石 U-Pb 年龄谐和图和加权平均图

a. 锆石 U-Pb 年龄谐和图; b. 锆石 U-Pb 年龄年龄频谱图; c. 锆石 U-Pb 年龄谐和图局部; d. 图 c 加权平均年龄图谱

Fig. 4 Concordia and weighted average diagrams of zircon grains

通过统计琅勃拉邦-黎府成矿带岩浆岩锆石 U-Pb 年龄,可将区域岩浆活动大体分为四期:石炭纪、早二叠世、晚二叠世—早中三叠世和晚三叠世(图1)。石炭纪火山岩广泛分布于老挝西北部,包括老挝琅勃拉邦东北部的辉绿岩脉和粗粒玄武岩,年龄分别为 335.5 ± 3.3 Ma 和 304.9 ± 3.9 Ma,指示了大陆弧后盆地环境^[10];琅勃拉邦南部安山岩、流纹岩和凝灰岩,年龄分别为 330.4 ± 2.2 Ma, 334.9 ± 1.7 Ma 和 349.6 ± 1.7 Ma^[20];巴莱南部则发育 314.6 ± 2.7 Ma 和 315.4 ± 3.8 Ma 的玄武岩和玄武质安山岩,这些火山岩指示了印支地块西缘在石炭纪为活动陆缘^[20]。早二叠世火山岩则主要为俯冲洋壳熔融来源的安山质含角砾凝灰岩,分布于琅勃拉邦南部,年龄为 278 ± 2.8 Ma^[5];晚二叠世—早中三叠世岩浆岩包括老挝—泰国边境大量出露的中酸性侵入岩和分布于整个成矿带内的凝灰岩和凝灰质碎屑岩,其中泰国普龙铜矿闪长岩成岩成矿年代为 240.6 ± 1.2 Ma^[23];老挝琅勃拉邦周边和泰国碧差汶西部的凝灰岩、凝灰质碎屑岩年龄均在 250 Ma 左

右^[16],这些侵入岩和火山岩指示了晚二叠世—早中三叠世与洋壳俯冲相关的大规模岩浆活动。晚三叠世火山岩则主要包括出露于老挝琅勃拉邦西南 237.7 ± 1.7 Ma 的玄武质安山岩^[11]和琅勃拉邦周边约 226 ~ 215 Ma 的火山碎屑岩^[15],表明区域俯冲碰撞后存在长期岩浆活动。

上述研究表明,琅勃拉邦—黎府成矿带在石炭纪—三叠纪期间经历了多期次的构造-岩浆活动,并引发了相关铜金多金属成矿作用。早石炭世—晚石炭世,伴随古特提斯主洋盆北向俯冲至印支地块之下,主洋盆东北侧形成了一系列弧后盆地^[10],琅勃拉邦构造带西北侧的思茅-彭世洛盆地即为石炭纪的残余弧后盆地。中晚二叠世—早三叠世,古特提斯洋东向俯冲,难河-沙缴弧后盆地开始关闭,琅勃拉邦—黎府成矿带内发生大规模岩浆活动^[7],并形成了浅成低温热液型 Au-Ag 矿如泰国切垂(Chatee)^[21]。早中三叠世,古特提斯洋持续俯冲闭合,带内发育斑岩-矽卡岩型铜金矿,如泰国普龙(Phu Lon)和普泰普发(Phu Thap Fah)^[22]。至中晚

三叠世,滇缅马苏地块与印支地块碰撞后持续发生岩浆活动,区域发育造山型金矿^[27]。

前人研究表明,琅勃拉邦构造带内存在石炭纪、晚二叠世—早三叠世和中晚三叠世等多期岩浆活动(图1),与本文~330 Ma的捕获锆石年龄具有可比性。老挝琅勃拉邦地区石英闪长岩形成于~260 Ma,属中晚二叠世,表明其可能是古特提斯洋板片东向俯冲,难河-沙缴弧后盆地关闭过程中岩浆活动的产物,为琅勃拉邦构造带向南连接至难河-程逸结合带提供了佐证。

5 结论

老挝琅勃拉邦地区石英闪长岩的锆石 U-Pb LA-ICP-MS 定年显示其成岩年代为 260.5 ± 1.8 Ma,表明琅勃拉邦地区存在中晚二叠世岩浆活动。该中酸性侵入体很可能是古特提斯洋板片东向俯冲,难河-沙缴弧后盆地关闭过程中岩浆活动的产物,为琅勃拉邦构造带向南连接至难河-程逸结合带提供了佐证。

致谢 老挝琅勃拉邦地区野外研究工作得到了天津华勘矿业投资有限公司相关工作人员的帮助与支持;锆石 U-Pb 同位素分析实验工作得到了武汉上谱分析科技有限责任公司和广州市拓岩检测技术有限公司相关工作人员的协助,在此一并致以诚挚的感谢!

参考文献:

- [1] Shi M F, Lin F C, Fan W Y, et al. Zircon U - Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 101: 101 - 120.
- [2] 高建华, 范文玉, 吴振波, 等. 老挝爬立山铁矿二长花岗斑岩地球化学特征及其成矿意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2015, 35(3): 102 - 108.
- [3] 王冬兵, 罗亮, 唐渊, 等. 昌宁-孟连结合带斜长角闪岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2017, 37(4): 17 - 28.
- [4] 刘书生, 杨永飞, 郭林楠, 等. 东南亚大地构造特征与成矿作用[J]. *中国地质*, 2018, 45(05): 7 - 33.
- [5] Shi M F, Wu Z B, Liu S S, et al. Geochronology and petrochemistry of volcanic rocks in the Xaignabouli Area, NW Laos [J]. *Journal of Earth Science*, 2019, 30(1): 37 - 51.
- [6] Goldfarb R J, Taylor R D, Collins G S, et al. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia [J]. *Gondwana Research*, 2014, 25: 48 - 102.
- [7] Zaw K, Meffre S, Lai C K, et al. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia - A review and contribution [J]. *Gondwana Research*, 2014, 26, 5 - 30.
- [8] Guo L N, Hou L, Liu S S, et al. REE geochemistry and C-O isotope characteristics of hydrothermal calcites: Implications for fluid-rock reaction and ore-forming processes in the Phapon gold deposit, NW Laos [J]. *Minerals*, 2018, 8(10): 438 - 459.
- [9] 施美凤, 范文玉, 林方成, 等. 泰国西部比洛克(Pilok)锡钨矿流体包裹体研究及矿床成因[J]. *沉积与特提斯地质*, 2016, 36(2): 97 - 104.
- [10] Qian X, Feng Q L, Wang Y J, et al. Geochronological and geochemical constraints on the mafic rocks along the Luang Prabang zone: carboniferous back-arc setting in northwest Laos [J]. *Lithos*, 2016, 245, 60 - 75.
- [11] Qian X, Feng Q L, Wang Y J, et al. Petrochemistry and tectonic setting of the Middle Triassic arc-like volcanic rocks in the Sayabouli area, NW Laos [J]. *J. Earth Sci.*, 2016, 27, 365 - 377.
- [12] Bercovici A, Bourquin S, Broutin J, et al. Permian continental paleoenvironments in Southeastern Asia: new insights from the Luang Prabang Basin (Laos) [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 2012, 60, 197 - 211.
- [13] 赵延朋, 康铁锁, 宁庚陈, 等. 老挝班康姆铜金矿床火山-侵入杂岩地球化学特征及地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 2017, 36(3): 281 - 294.
- [14] 王宏, 林方成, 李兴振, 等. 老挝及邻区构造单元划分与构造演化[J]. *中国地质*, 2015, 42(1): 71 - 84.
- [15] 李兴振, 刘朝基, 丁俊. 大湄公河次地区主要结合带的对比与连接[J]. *沉积与特提斯地质*, 2004, 24(4): 1 - 12.
- [16] Blanchard S, Rossignol C, Bourquin S, et al. Late Triassic volcanic activity in South-East Asia: New stratigraphical, geochronological and paleontological evidence from the Luang Prabang Basin (Laos) [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 70 - 71: 8 - 26.
- [17] Rossignol C, Bourquin S, Poujol M, et al. The volcanoclastic series from the Luang Prabang Basin, Laos: A witness of a Triassic magmatic arc? [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 120: 159 - 183.
- [18] 郭林楠, 侯林, 刘书生, 等. 老挝帕奔金矿床成矿流体来源与矿床成因: 稀土元素和 C、O、S 同位素证据[J]. *矿床地质*, 2019, 38(2): 233 - 250.
- [19] Tangwattananukul L, Ishiyama D, Matsubaya O, et al. Gold mineralization of Q prospect at Chatree deposit, central Thailand [R]. *NMCC Annual Report*, 2009, 16: 70 - 75.
- [20] Qian X, Feng Q L, Yang, W Q, et al. Arc-like volcanic rocks in NW Laos: geochronological and geochemical constraints and their tectonic implications [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 2015, 98, 342 - 357.
- [21] Salam A, Zaw K, Meffre S, et al. Geochemistry and geochronology of epithermal Au-hosted Chatree volcanic sequence: implication for tectonic setting of the Loei Fold Belt in central Thailand [J].

- Gondwana Research, 2014, 26, 198 – 217.
- [22] Kamvong T, Zaw K. The origin and evolution of skarn-forming fluids from the Phu Lon deposit, northern Loei Fold Belt, Thailand. Evidence from fluid inclusion and sulfur isotope studies [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 34: 624 – 633.
- [23] 聂飞, 刘书生, 杨永飞, 等. 泰国普龙砂卡岩型铜矿床闪长岩锆石 U-Pb 定年及意义 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2019, 39 (4): 71 – 78.
- [24] Zong K Q, Klemm R, Yuan Y, et al. The assembly of Rodinia: The correlation of early Neoproterozoic (ca. 900 Ma) high-grade metamorphism and continental arc formation in the southern Beishan Orogen, southern Central Asian Orogenic Belt (CAOB) [J]. *Precambrian Research*, 2017, 290, 32 – 48.
- [25] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51, 537 – 571.
- [26] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约 [J]. *科学通报*, 2004, 49 (16): 1589 – 1604.
- [27] Guo L N, Liu S S, Hou L, et al. Fluid inclusion and C-H-O isotopes geochemistry of the Phapon gold deposit, NW Laos: Implications for fluid source and ore genesis [J]. *Journal of Earth Science*, 2019, 30 (1): 80 – 94.

Zircon U-Pb dating of quartz-diorite from Luang Prabang tectonic belt in Laos: Implication for eastward subduction of the Paleo-Tethys Ocean

GUO Linnan, HOU Lin, NIE Fei, LIU Shusheng, Xu Siwei, ZHANG Qiming
(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: The Luang Prabang tectonic belt in Laos is located in the western of Indo-China Plate, and it is one of the important tectonic belts in Southeast Asia-Tethys domain. Multi-stage magmatic activities in this area recorded multi-stage tectonic-magmatic evolutions. However, there are few reports on magmatic activity related to the closure process of Paleo-Tethys Ocean, thus the relationship of tectonic evolution-magmatism-metallogenesis in the process remain controversial. Based on field geological observations and petrographic studies, this article carried out zircon U-Pb LA-ICP-MS dating of quartz diorite in Luang Prabang, Laos. The results show that the crystalline age of the quartz diorite is 260.5 ± 1.8 Ma, indicating a Middle-Late Permian magmatic activity in the Luang Prabang tectonic belt. Combine with previous studies, we believe the medium-acid intrusive rock is likely to be the product of magmatic activity during the eastward subduction of the Paleo-Tethys Ocean-plate and closure of the Nan-Sra Kaeo backarc basin. It also provides new data indicating that the Luang Prabang tectonic zone may link to the Nan-Uttaradit to the south.

Key words: Zircon U-Pb dating; Luang Prabang tectonic zone; Quartz diorite; Paleo-Tethys Ocean