

文章编号:1009-3850(2017)04-0029-12

滇西澜沧江构造带南段沙乐花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义

刘军平¹, 田素梅¹, 丛峰², 孙柏东¹, 黄晓明¹, 徐云飞^{1,3}

(1. 云南省地质调查院, 云南 昆明 650216; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 3. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:沙乐花岗岩位于滇西思茅地块南涧县南西沙乐乡一带, 主要由黑云母二长花岗岩和花岗闪长岩组成, 被少量正长斑岩侵入。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年得出黑云母二长花岗岩的形成年龄为 246.4 ± 2.6 Ma, 花岗闪长岩的形成年龄为 245.7 ± 3.6 Ma, 表明该花岗岩体的形成时代属于早三叠世。岩石 SiO_2 含量 71.44% ~ 76.39%, Al_2O_3 含量 12.72% ~ 16.15%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.1 \sim 1.30$, 均属高钾钙碱性过铝-强过铝花岗岩。根据地球化学特征和微量元素构造判别图解, 样品点主要落入“火山弧花岗岩”、“板内花岗岩”区域, 少量落入“碰撞花岗岩”区域, 表明其形成于俯冲-碰撞岩浆弧转换环境。在 Sr-Yb 花岗岩分类图解中, 主要属常见的低 Sr 高 Yb 花岗岩, 少数样品属低 Sr 低 Yb 花岗岩, 其物质来源为含砂质的变质泥质岩。结合锆石定年结果及岩体产出的区域地质背景, 认为沙乐花岗岩形成于缅泰马陆块与思茅地块大陆碰撞造山过程的初始阶段, 同时表明昌宁-孟连洋碰撞最早时限为早三叠世。

关键词:沙乐花岗岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 澜沧江构造带

中图分类号: P541 ; P597

文献标识码: A

引言

西南三江地区地处青藏高原东南缘特提斯-喜马拉雅构造域东部, 是冈瓦纳大陆与欧亚大陆的结合地带, 特提斯造山带与环太平洋造山带的汇合部^[1]。近年来, 特提斯洋俯冲及印-欧大陆的碰撞问题成为地学界研究的热点。滇西三江地区南澜沧江构造带的沙乐花岗岩体位于澜沧江断裂东侧, 景洪岩浆弧与兰坪-思茅盆地之间, 总体上呈 NW-SE 向展布。由于岩体规模较小, 岩石类型较为单一, 1

: 20 万魏山幅和 1: 25 万凤庆幅区域地质调查报告的前期资料涉及相关的研究内容较少, 仅有岩性和分布特征介绍, 缺乏高精度的锆石 U-Pb 同位素年代数据。本文报道了该岩体花岗闪长岩及二长花岗岩获得的锆石 U-Pb 年龄, 并结合其地球化学特征、产出状态, 讨论沙乐岩体形成的构造背景及大地构造意义。

本文对澜沧江南段构造带的三叠纪沙乐花岗岩的岩石地球化学特征进行了初步研究, 利用锆石 U-Pb 测年方法进行了定年, 探讨了其侵位时代、成

收稿日期: 2017-08-10; 改回日期: 2017-10-19

作者简介: 刘军平(1983 -), 男, 工程师, 从事区域地质与构造地质调查研究。E-mail: 271090834@qq.com

通讯作者: 丛峰(1982 -), 男, 高级工程师, 从事西南“三江”基础地质矿产研究。E-mail: 673103623@qq.com

资助项目: 《西南三江有色金属资源基地调查》项目(项目编号 DD20160016)之子项目云南省 1: 5 万诗礼、犀牛街、大河、老家库、哨街区域地质矿产调查项目资助

因类型、物质来源及大地构造属性,为澜沧江南段乃至整个西南三江地区地质演化的动力学过程提供约束和研究依据,对于建立三江地区完整的时空格架具有重要意义。

1 区域地质特征

研究区位于滇西地区,在区域构造位置上属全球特提斯-喜马拉雅构造域的东段,冈瓦纳大陆与欧亚大陆强烈碰撞的地带,也是特提斯构造域与环太平洋构造域的交汇部位^[2]。地层上位于兰坪-思茅双向弧后-陆内盆地西缘,属于华南地层大区(Ⅱ),羌北-昌都-思茅地层小区(Ⅱ-1)的景洪岩浆弧(图1)。

区域出露地层以古元古界、早古生界为主,其次为三叠系、侏罗系和白垩系,少量新生代地层(图1)。古元古界崇山岩群(Pt₁C.)为一套变质程度达绿片岩-角闪岩相的二云母(黑云母)斜长片麻岩、花岗岩片麻岩、花岗混合岩、(长石、二云母、含石榴石)石英片岩、斜长(二长)变粒岩、斜长角闪岩及花岗伟晶岩等岩石组合,是羌塘-三江多岛弧盆系统的结晶基底。中元古界团梁子岩组(Pt₂t.)是一套变形强烈的灰绿、灰色(石英)绢云千枚岩、绢云石英千枚岩夹阳起绿泥绿帘千枚岩、绿泥石英钠长千枚

岩、钠长绿泥绿帘千枚岩等。原岩为泥岩、粉砂岩、大量的基性火山岩。早古生界无量山岩群(Pz₁W.)为一套绢云板岩-砂质板岩类、变质砂岩类、变质碳酸盐岩类、英安质凝灰质板岩、部分斑点板岩、千枚岩、少量石英岩、钠长绿泥片岩。石炭—二叠系龙洞河组(C—Pl)为一套灰绿、灰紫色中酸性熔结凝灰岩、英安质凝灰岩、沉凝灰岩、火山角砾岩、岩屑长石砂岩、凝灰质粉砂岩、泥质粉砂岩。三叠系中统忙怀组(T₂m)下部岩性为流纹岩、英安岩、安山岩、英安质流纹质凝灰熔岩(熔岩为主);上部岩性为灰、灰绿色凝灰质砂岩、灰色粉砂岩夹灰-灰绿色凝灰岩。上三叠统地层(T₃)为一套由浅海相沉积向三角洲沉积相演化的陆源碎屑岩类、碳酸盐岩类沉积物。侏罗—白垩系地层为一套湖相碎屑岩沉积。新近系三营组(N₂s)为一套成熟度低的陆相河湖沉积物,岩性组合为石英砂岩、粉砂岩、泥岩(黏土岩)夹褐煤层(不稳定层)。

2 样品采集及测试

2.1 岩体地质特征

沙乐早三叠世花岗岩体在平面上呈椭圆状,由两个小岩体组成,总体呈北西—南东向展布,与区域构造方向一致,出露面积约为3.5km²。岩体与围

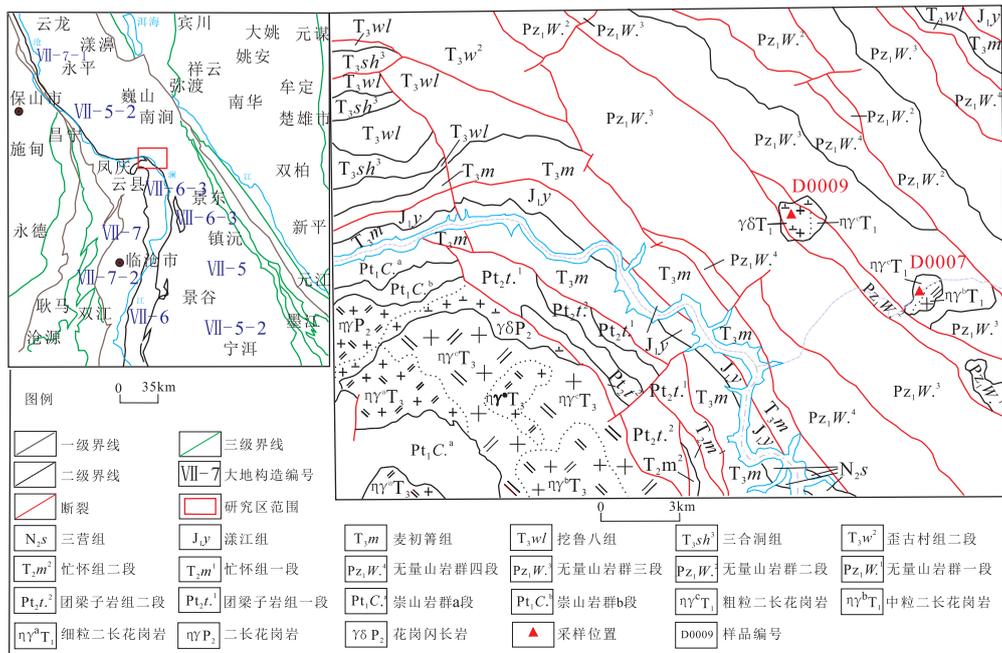


图1 沙乐地区大地构造位置图及地质图

Fig. 1 Tectonic setting and geological map of the Shale region in western Yunnan

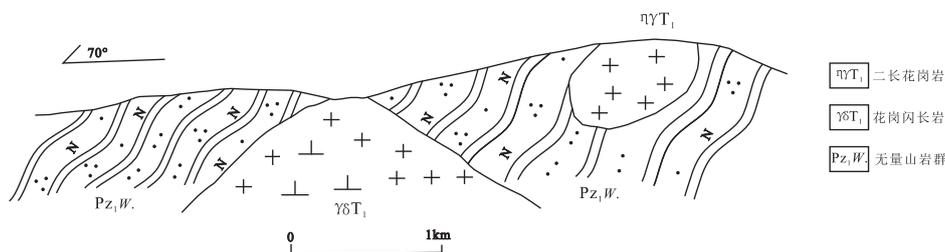


图2 沙乐花岗岩与无量山岩群(Pz₁W)呈侵入接触关系

Fig. 2 Intrusive contact between the Shale granites and the Wuliangshan Group Complex

岩无量山岩群呈侵入接触关系(图2),岩体接触部分可见冷凝边。无量山岩群受岩体烘烤普遍发生热变质作用,说明无量山岩群沉积时代不晚于岩体侵位时代。沙乐花岗岩体岩石类型以灰色黑云母二长花岗岩为主,少量为浅灰色细粒花岗闪长岩和灰白色花岗闪长斑岩,局部见无量山岩群变质长石英砂岩捕虏体。黑云二长花岗岩与花岗闪长岩呈渐变过渡接触关系。

2.1.1 灰色中粗粒黑云二长花岗岩

岩石呈浅灰色,中粗粒花岗结构,局部为中粒似斑状花岗结构,块状构造(图3a)。斑晶为钾长石,呈半自形板状-不规则粒状,含量在36%~41%之间,具简单双晶和条纹结构,为条纹长石,局部蚕蚀交代斜长石(图3b、c)。斜长石含量约25%~35%,呈半自形板状,双晶不发育,具较轻度的绢云母化、高岭石化及黏土化现象。石英呈它形及不规则粒状,局部具波状消光,含量约20%~25%之间,充填于其它矿物粒间空隙中。暗色矿物主要为黑云母(含量约6%),其次为角闪石(含量约3%)。黑云母呈片状,绿泥石化明显;角闪石呈半自形,多色性明显,为浅-暗绿色,绿泥石化较强。副矿物主要为锆石、榍石、磁铁矿和磷灰石等,锆石晶形较好,呈长柱状。

2.1.2 浅灰色细粒花岗闪长岩

岩石具细粒花岗结构,块状构造(图3d)。岩石主要由粒径 ≤ 1.8 mm的半自形-它形粒状斜长石(55%~60%)、石英(25%~30%)、钾长石(5%~10%)和片状黑云母(3%~5%)、白云母($< 1\%$)、绿帘石($< 1\%$)及副矿物($< 1\%$)等混杂分布组成。斜长石呈半自形-它形粒状,杂乱不均匀分布;它形粒状石英、钾长石不均匀分布于斜长石粒间,自形程度较斜长石稍差,粒度主要在细粒范围;片状白云母、黑云母呈杂乱不均匀分布;少数绿帘石呈零

星分布,镜下特征见图3e、f。

2.1.3 灰白色细粒花岗闪长斑岩

岩石具多斑结构,块状构造。基质具显微晶质、显微文象结构。斑晶为半自形板柱状斜长石(55%)和它形粒状石英(5%)等混杂不均匀分布。基质主要由显微晶质石英(15%)、斜长石(10%~15%)、钾长石(10%)及少数黑云母(1%~2%)、绢云母等($< 1\%$)组成。它形粒状石英、斜长石杂乱分布,它形粒状钾长石常与石英、斜长石交生呈显微文象结构。黑云母、绢云母杂乱不均匀分布,绢云母集合体呈它形粒状。

2.2 样品采集及测试

用于研究的2件岩石样品采自于滇西大理南涧县沙乐乡沙乐花岗岩体中,采样位置见图1。岩性分别为黑云二长花岗岩和花岗闪长岩,采集岩石风化程度弱,较新鲜。用于主量元素和微量元素测定的样品,新鲜无污染并粉碎至200目以下。常量、微量及稀土元素分析测试在国土资源部昆明矿产资源监督检测中心完成。常量元素分析采用AXIOS-X荧光光谱仪测定,分析误差1%~3%。微量、稀土元素分析采用等离子质谱(Icap Q)完成,分析准确度优于5%。

锆石分选在河北区域地质矿产调查研究所实验室完成。原岩样品经人工粉碎,淘洗后去除轻矿物部分,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少量杂质的锆石样品,最后在双目镜下挑选出锆石晶体。选择晶型较好、无裂隙的锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶,打磨样品靶,使锆石的中心部位暴露出来,然后进行抛光。对锆石进行反射光、透射光显微照相和阴极发光(CL)图像分析,根据反射光、透射光及锆石CL图像,选择代表性的锆石颗粒和区域进行U-Pb测年。U-Pb同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重

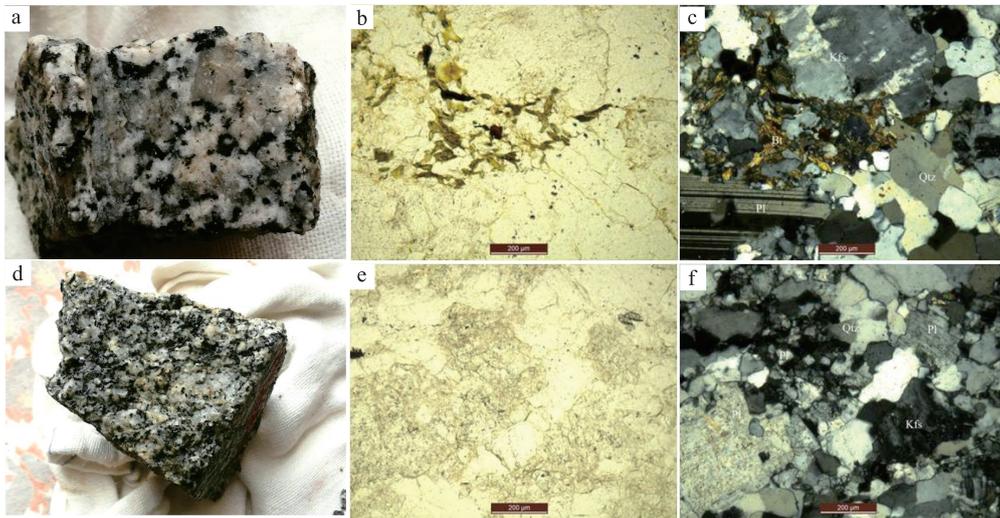


图3 黑云二长花岗岩手标本(a)、单偏光(b)、正交偏光(c)及花岗闪长岩手标本(d)、单偏光(e)、正交偏光(f)

Fig. 3 Photomicrographs of biotite monzogranites, hand specimen (a), plane-polarized light (b) and cross-polarized light (c), and granodiorites, hand specimen (d), plane-polarized light (e) and cross-polarized light (f)

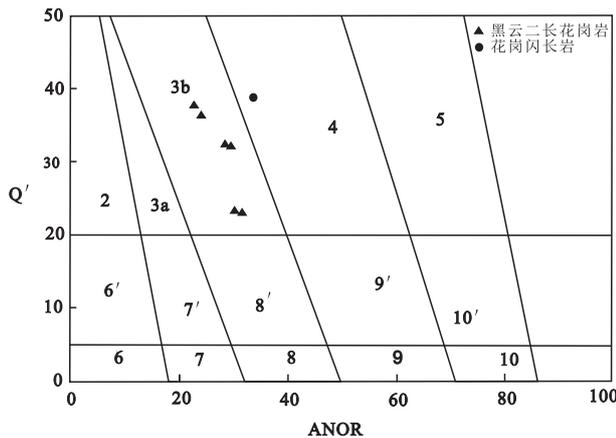


图4 沙乐花岗岩类 Q'-ANOR 图解
(据 Streckeisen 和 Le Maitre, 1979)

2. 碱长花岗岩; 3a. 正长花岗岩; 3b. 二长花岗岩; 4. 花岗闪长岩; 5. 英云闪长岩; 6'. 石英碱长正长岩; 7'. 石英正长岩; 8'. 石英二长岩; 9'. 石英二长闪长岩、石英二长辉长岩; 10'. 石英闪长岩、石英辉长岩、石英斜长岩; 6. 碱长正长岩; 7. 正长岩; 8. 二长岩; 9. 二长闪长岩、二长辉长岩; 10. 闪长岩、辉长岩、斜长岩

Fig. 4 Q'-ANOR diagram of the Shale granites (after Streckeisen and Le Maitre, 1979)

点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气、氩气为补充气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar + He)中加入少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善

分析精度^[4]。激光剥蚀系统配置了使激光脉冲频率低达 1Hz 的信号平滑装置,可使系统获得光滑的分析信号^[5]。每个时间分辨分析数据包括大约 20 ~ 30s 的空白信号和 50s 的样品信号。采用 Isoplot 程序(Ver3.0)^[23]进行锆石加权平均年龄计算及谐和图的绘制。采用年龄为 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,其加权平均年龄值的误差为 2σ, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 和 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 平均年龄误差为 95% 置信度。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素

本次选择 7 件代表性样品,其中黑云二长花岗岩 6 件和花岗闪长岩 1 件,其主量元素和微量元素分析结果及相关参数列于表 1。在 Q'-ANOR 岩石分类图解中(图 4),6 件黑云母二长花岗岩样品全部落在二长花岗岩范围内,1 件花岗闪长岩样品落在花岗闪长岩范围内,与野外观察和显微镜下鉴定结果相一致。

岩石中黑云母二长花岗岩的 SiO₂ 含量为 70.15% ~ 75.39%, Na₂O + K₂O 含量为 6.66% ~ 7.49%, Na₂O 含量为 3.03% ~ 4.84%, K₂O/Na₂O 为 0.77 ~ 2.66, P₂O₅ 含量为 0.02% ~ 0.10%, MgO 含量为 0.45% ~ 0.82%, Mg 含量为 11.28% ~ 21.62%, 显示出富钠的特征。在岩石 A/CNK-A/NK 图解中,4 个样品落在钙碱性系列区域,一个样品落入低钾(拉斑)系列(图 5)。岩石 C. I. P. W. 计算结

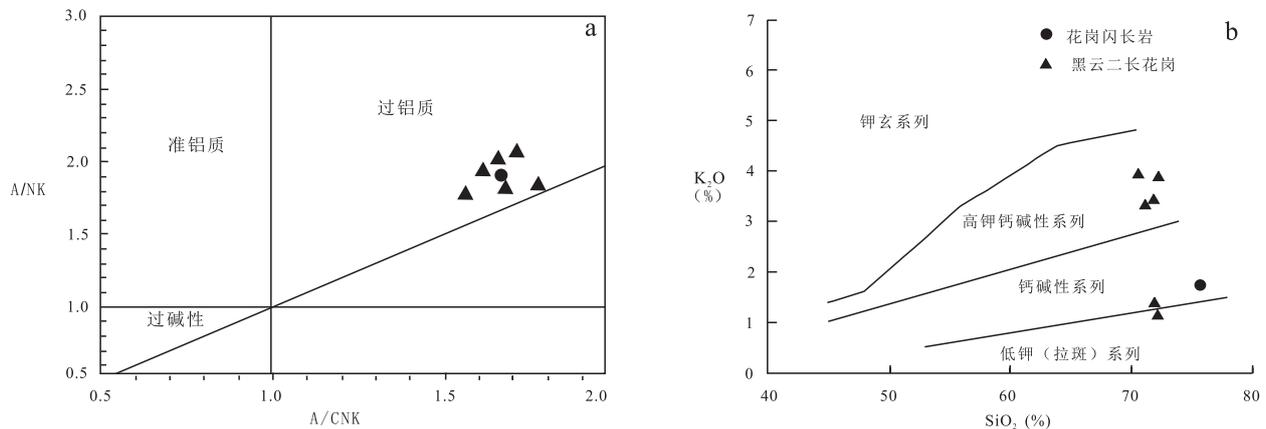


图5 沙乐花岗岩体 A/CNK-A/NK 图解(a) 和 SiO_2 - K_2O 图解(b)

Fig. 5 A/CNK vs. A/NK diagram (a) and $w(\text{SiO}_2)$ vs. $w(\text{K}_2\text{O})$ diagram (b) of the Shale granites

果显示,标准矿物中皆出现钾长石(Or)、钠长石(Ab)和石英(Qz),刚玉分子(C)含量为0.29~2.34,多数大于1%,平均含量达1.12,说明岩石属铝和硅过饱和类型。

3.2 稀土元素

研究区沙乐花岗岩的微量、稀土元素分析结果列于表1。黑云母二长花岗岩的稀土总量 ΣREE 为 $(97.26 \sim 292.31) \times 10^{-6}$ 之间,平均为 208.14×10^{-6} , $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 1.78 \sim 2.24$,LREE 相对富集,HREE 相对亏损,稀土配分曲线均向右倾斜,为富集轻稀土型分布模式(图6a)。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 介于2.67~64.85之间,表明轻稀土相对富集,轻、重稀土之间分馏相对明显。 $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 介于1.91~12.11之间, $\delta\text{Eu} = 0.29 \sim 0.83$,显示存在弱到中等程度的负Eu异常。 $(\text{Sm}/\text{Nd})_N$ 介于0.51~0.81,高于地壳丰度值(0.17),反映壳源岩浆受到了幔源岩浆的一定程度混染。

3.3 微量元素

黑云二长花岗岩、花岗闪长岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图形态相似(图6b),均显示元素Rb、Th、Nd等相对富集,而元素Ba、Nb、Ce、Zr、Eu等相对亏损。按照张旗的Sr-Yb花岗岩分类方案,本期花岗岩主要属常见的低Sr低Yb花岗岩,部分样品属低Sr高Yb花岗岩(图7),结合稀土元素配分曲线分析,可能属中等压力下,以斜长石为主要残留固相(无石榴石)的角闪岩相变质泥质岩系部分熔融形成的。

4 锆石 U-Pb 年龄

本次工作用于锆石 U-Pb 年龄测试的样品采集

位置见图1,样品分析数据见表2、3。其中黑云二长花岗岩(D0007)的锆石均为无色透明,以柱状、短柱状为主,长度变化于100~200 μm ,长宽比1.5:1~3:1,少部分锆石边部具有熔蚀现象,锆石 CL 图像显示明显的振荡韵律环带(图8a)。锆石的Th/U比值均小于1,属典型的岩浆成因锆石。选择19颗锆石进行了19个点的定年分析,所有的分析点都位于谐和线上及其附近(图9a)。对测得的19颗锆石的数据进行处理,获得了较为一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 $246.4 \pm 2.6 \text{ Ma}$ (MSWD=2.9),该年龄代表黑云二长花岗岩的岩浆结晶年龄。

花岗闪长岩(D0009)的锆石颗粒为无色透明或浅黄色,半自形到自形,形态有长柱状、短柱状、粒状和不规则状,粒径大小在110~180 μm 之间,颗粒长宽比在1:1~1:2之间。花岗闪长岩锆石具有明显的振荡韵律环带(图8b),锆石的Th/U比值均小于1,为典型的岩浆成因。花岗闪长岩的锆石中可见继承锆石的残留核,这些锆石具典型的核-边结构,继承核表现为弱的发光性(测点6和测点22),部分继承核仍具有清楚的岩浆振荡环带,表明这些锆石的继承核和增生边均为岩浆成因。选择24颗锆石进行了24个点的定年分析。所有24个分析点都位于谐和线上及其附近(图9b),对测得的24颗锆石的数据进行处理,获得了较为一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 $245.7 \pm 3.6 \text{ Ma}$ (MSWD=5.6),该年龄代表了花岗闪长岩的岩浆结晶年龄。

5 讨论

5.1 岩体形成时代

表1 沙乐岩体的主量元素和微量元素分析结果
Table 1 Major and trace element contents in the Shale granites

岩石名称 样品编号	黑云二长花岗岩						花岗闪长岩
	D0007-1	D0007-2	D0007-3	D0007-4	D0007-5	D0007-6	D0009-1
SiO ₂	72.10	70.78	71.88	71.72	70.51	72.42	75.39
TiO ₂	0.25	0.27	0.23	0.218	0.39	0.25	0.15
Al ₂ O ₃	16.00	15.45	15.93	15.23	14.37	13.41	12.55
Fe ₂ O ₃	0.91	1.98	1.02	0.323	2.72	2.19	1.24
FeO	0.25	0.25	0.28	1.62	1.04	0.96	0.72
MnO	0.01	0.02	0.02	0.034	0.08	0.05	0.03
MgO	0.47	0.67	0.31	0.529	0.82	0.45	0.80
CaO	0.44	1.95	0.84	2.03	1.66	1.74	1.13
Na ₂ O	7.85	4.32	7.35	4.27	3.03	3.54	4.84
K ₂ O	0.77	3.30	1.39	3.44	3.97	3.95	1.82
P ₂ O ₅	0.01	0.03	0.01	0.062	0.10	0.06	0.02
烧失量	0.88	0.82	0.59	0.45	1.17	0.85	1.21
总量	99.93	99.84	99.85	99.93	99.87	99.87	99.91
ANOR	31.89	32.71	33.48	24.43	26.14	33.66	32.23
Mg [#]	11.87	16.81	7.70	13.20	20.62	11.28	20.11
Rb	41.1	103	40.3	116	125	129	78.9
Ba	162	800	324	887	841	500	60.2
Th	5.86	9.51	7.63	9.12	15.1	19.4	26.9
U	1.00	2.99	1.90	3.09	3.70	6.43	4.02
Nb	6.40	4.30	5.50	2.60	18.1	23.5	31.8
Zr	118	116	111	83.6	225	138	80.0
Hf	5.61	4.34	4.33	3.25	15.1	7.79	3.88
Sr	74.4	372	169	362	281	271	77.8
Pb	0.10	16.1	1.10	10.4	14.9	15.3	12.7
La	8.41	23.3	10.4	20.2	60.8	43.7	11.8
Ce	10.3	37.0	15.0	33.6	109	81.7	29.4
Pr	2.37	4.51	2.26	3.76	12.1	9.11	3.79
Nd	10.1	15.7	8.24	12.0	40.9	30.4	14.5
Sm	2.66	2.76	1.64	2.09	6.77	5.51	3.55
Eu	0.61	0.89	0.41	0.72	1.54	0.98	0.31
Gd	2.12	2.53	1.31	1.68	6.17	5.36	2.83
Td	0.40	0.37	0.20	0.20	1.00	0.92	0.53
Dy	2.50	1.90	1.05	0.90	6.37	6.49	3.62
Ho	0.49	0.32	0.18	0.14	1.28	1.30	0.76
Er	1.46	0.83	0.48	0.33	4.06	4.09	2.36
Tm	0.23	0.11	0.07	0.036	0.63	0.67	0.43
Yb	1.39	0.79	0.39	0.21	3.99	4.41	2.97
Lu	0.24	0.14	0.06	0.024	0.66	0.71	0.50
Y	9.58	8.49	3.97	3.53	37.0	39.5	20.0
∑REE	52.82	99.64	45.60	79.42	292.31	234.86	97.26
σEu	1.02	0.35	0.36	1.05	0.17	0.52	0.73
(La/Yb) _N	4.08	19.88	17.90	10.28	6.69	2.67	64.85

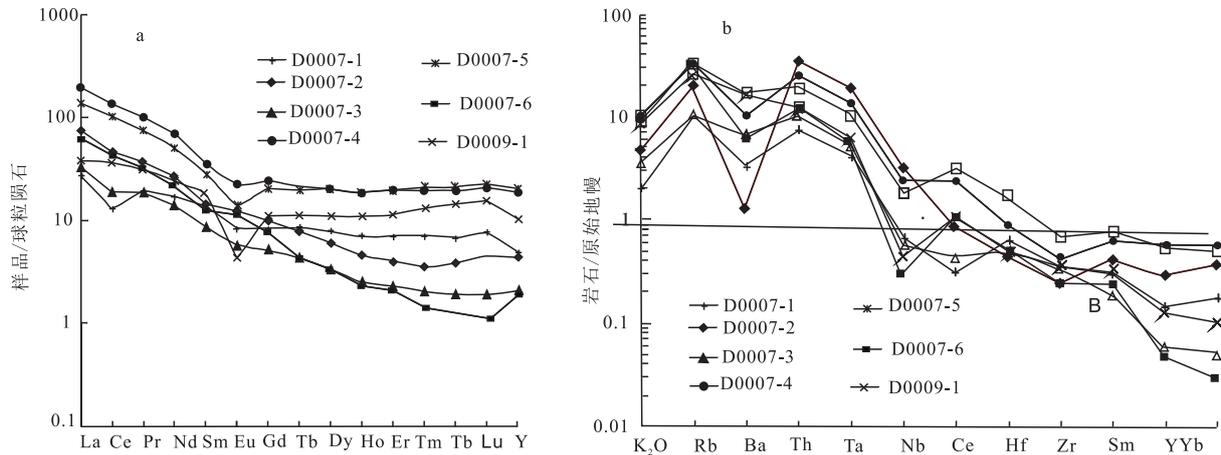


图6 沙乐岩体稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (原始地幔数据引自 Sun 等, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Shale granites(a) and PM-normalized trace element distribution patterns for the Shale granites(b) (Primitive mantle data are from Sun and McDonough, 1989)

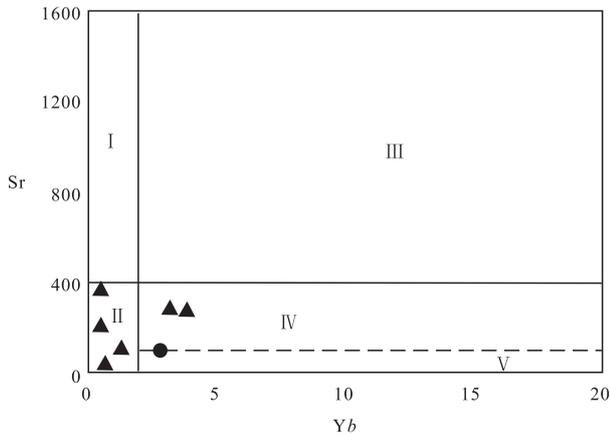


图7 沙乐花岗岩体 Sr-Yb 图解

I. 高 Sr 低 Yb 花岗岩; II. 低 Sr 低 Yb 花岗岩; III. 高 Sr 高 Yb 花岗岩; IV. 低 Sr 高 Yb 花岗岩; V. 极低 Sr 高 Yb 花岗岩

Fig. 7 Sr-Yb diagram of the Shale granites

沙乐花岗岩体中的黑云二长花岗岩样品(D0007)的锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 246.4 ± 2.6 Ma (MSWD = 2.9), 代表了黑云二长花岗岩的岩浆结晶年龄。其中一件花岗闪长岩样品(D0009)的锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值分别为 245.7Ma ± 3.6 Ma (MSWD = 5.6), 代表了花岗闪长岩的岩浆结晶年龄。两类岩石的年龄相差约 0.8 ~ 1Ma, 岩石年龄在误差范围内基本一致, 表明黑云二长花岗岩和花岗闪长岩为同一物源, 且沙乐一带早三叠世发生了较大规模的酸性岩浆活动。

5.2 岩石成因

Sylvester(1998) 通过研究认为, 与碰撞有关的过铝质-强过铝质花岗岩的源区尽管具有多样性, 但主要的源区是地壳中的碎屑沉积岩类(如泥质岩、砂屑岩及杂砂岩)和变质沉积岩。实验岩石学研究也表明, 地壳中碎屑沉积岩类部分熔融形成偏酸性的过铝质花岗岩类, 只有泥砂质沉积岩类部分熔融才可能形成强过铝质花岗岩^[4]。对于 SiO₂ 含量在 71.44% ~ 76.39% 之间的过铝质花岗岩, 其 CaO/Na₂O 值可以反映其源区成分特征。由泥岩生成的过铝质花岗岩的 CaO/Na₂O 值一般小于 0.3, 而由砂屑岩、正片麻岩生成的过铝质花岗岩的 CaO/Na₂O 值一般大于 0.3。沙乐花岗岩的 CaO/Na₂O 值有 4 个样品为 0.45 ~ 0.55, 其它 3 个样品为 0.06 ~ 0.23, 小于 0.3, 表明本区早三叠世花岗岩浆源区岩石成分主要为砂屑岩、正片麻岩和泥质岩。在 Rb/Ba-Rb/Sr 图解中, 沙乐花岗岩 2 个样品点落入砂页岩源区、杂砂岩源区, 5 个样品点分布在富黏土源岩区的泥质岩区(图 10a), 表明其源区成分主要为泥质岩。在 C/MF-A/MF 判别图解中, 2 个样品点主要落入变质杂砂岩部分熔融区, 有 5 件样品分布在变质泥质岩部分熔融区(图 10b)。因此, 沙乐花岗岩体属于含砂质的变质泥质岩系部分熔融的产物。

5.3 花岗岩形成的构造背景

花岗质岩石形成于活动大陆边缘、岛弧造山带、大陆碰撞带等多种构造环境^[1]。在 (Y + Nb)-Rb 图解(图 11)上, 沙乐黑云母二长花岗岩样品点落入火山弧花岗岩(VAG)及板内花岗岩(WPG)重

叠区域及其附近;沙乐花岗闪长岩样品点落入火山弧花岗岩(VAG)及同碰撞花岗岩(Syn-COLG)重叠区域及其附近(图11)。在R1-R2图解中,本期花岗岩主要落入非造山区花岗岩-同碰撞花岗岩二者的过渡区域(图12)。微量元素Nb的亏损表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的负异常和Th的正异常显示了岛弧岩浆岩的特征,暗示着岩浆源区可能遭受过俯冲板块流体或熔体的交代作用。Ba的亏损与结晶晚期碱性长石的分离关系密切,是残余花岗岩浆的体现。Nb亏损是壳源成因类型的表现。Ba、Sr显示为相对亏损,具有非造山带花岗岩的特征,反映



图8 沙乐花岗岩岩体代表性锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 8 Representative CL images of zircons in biotite monzogranites (a) and granodiorites (b) from the Shale granites

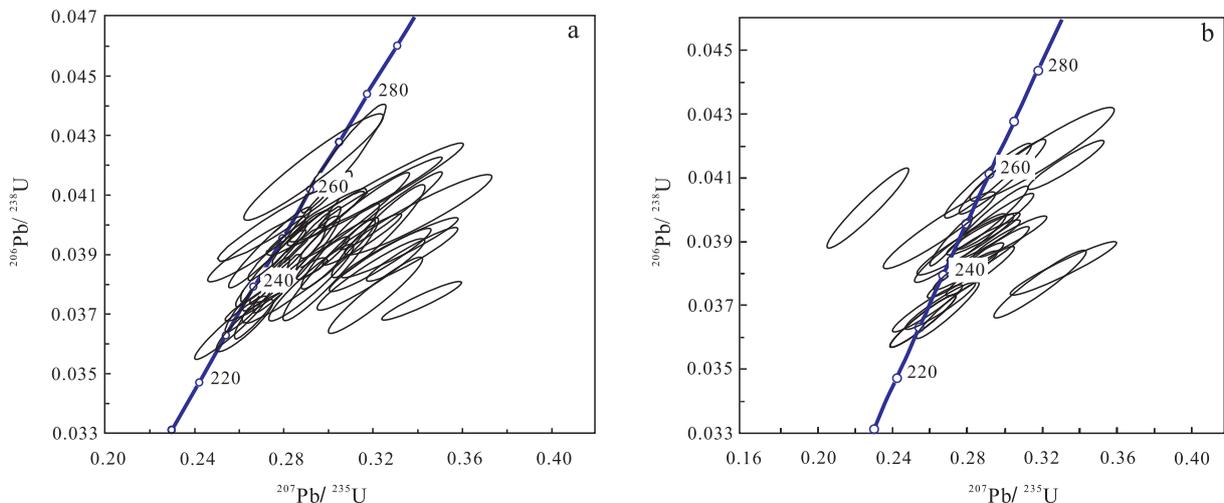


图9 沙乐岩体黑云母二长花岗岩(a)和花岗闪长岩(b)锆石U-Pb年龄谱

Fig. 9 Concordia plot of the zircon U-Pb age data for biotite monzogranite from the Shale granites (a) and granodiorite (b)

表 2 黑云二长花岗岩(D0007) 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb age data of biotite monzogranite (the sample D0007)

测点号	$w_B(10^{-6})$		同位素比值						U-Pb 年龄(Ma)						谐和度 (%)	Th/U	采用年龄
	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	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ			
1	427.5	753.6	0.0550	0.0015	0.2955	0.0091	0.0388	0.0005	413	63.0	263	7.1	245	3.4	93%	0.6	245
2	433.4	444.6	0.0660	0.0024	0.3417	0.0121	0.0375	0.0004	809	74.1	298	9.2	237	2.8	77%	0.9	237
3	223.8	395.1	0.0521	0.0021	0.2697	0.0107	0.0375	0.0005	287	90.7	242	8.5	238	3.2	97%	0.6	238
4	245.8	541.2	0.0560	0.0020	0.3036	0.0127	0.0392	0.0010	450	79.6	269	9.9	248	6.4	91%	0.5	248
5	243.2	341.1	0.0537	0.0022	0.2818	0.0115	0.0381	0.0005	367	94.4	252	9.1	241	3.2	95%	0.7	241
6	269.9	299.2	0.0625	0.0024	0.3376	0.0138	0.0390	0.0006	694	83.3	295	10.4	247	3.8	82%	0.9	247
7	226.0	333.8	0.0543	0.0026	0.2853	0.0128	0.0387	0.0011	383	113.9	255	10.1	245	6.7	95%	0.7	245
8	381.3	470.0	0.0516	0.0018	0.2743	0.0105	0.0385	0.0009	333	81.5	246	8.4	244	5.3	99%	0.8	244
9	260.7	397.5	0.0574	0.0022	0.3296	0.0139	0.0413	0.0006	509	85.2	289	10.6	261	3.9	89%	0.7	261
10	406.9	562.2	0.0534	0.0018	0.2891	0.0110	0.0392	0.0009	343	77.8	258	8.7	248	5.7	96%	0.7	248
11	226.3	394.2	0.0520	0.0021	0.2805	0.0133	0.0390	0.0010	283	94.4	251	10.5	246	6.4	98%	0.6	246
12	342.0	487.7	0.0577	0.0020	0.3157	0.0113	0.0395	0.0005	520	75.9	279	8.7	250	3.4	89%	0.7	250
13	236.5	285.9	0.0623	0.0031	0.3352	0.0152	0.0394	0.0006	687	105.5	294	11.6	249	3.7	83%	0.8	249
14	242.6	329.6	0.0510	0.0021	0.2554	0.0107	0.0365	0.0007	239	94.4	231	8.6	231	4.4	99%	0.7	231
15	348.6	461.2	0.0571	0.0024	0.3004	0.0140	0.0385	0.0011	494	94.4	267	10.9	243	7.0	90%	0.7	243
16	287.9	612.1	0.0516	0.0016	0.2684	0.0097	0.0377	0.0008	265	76.8	241	7.8	238	5.2	98%	0.5	238
17	243.6	469.3	0.0531	0.0019	0.2727	0.0099	0.0376	0.0009	345	79.6	245	7.9	238	5.8	97%	0.5	238
18	214.7	335.5	0.0500	0.0017	0.2718	0.0111	0.0391	0.0008	195	75.0	244	8.9	247	5.2	98%	0.6	247
19	302.1	474.6	0.0617	0.0024	0.3215	0.0141	0.0377	0.0009	665	85.2	283	10.9	238	5.3	82%	0.6	238

表 3 花岗闪长岩(D0009) 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄
Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb age data of granodiorite (the sample D0009)

测点号	$w_B(10^{-6})$		同位素比值						U-Pb 年龄(Ma)						谐和度 (%)	Th/U	采用年龄
	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	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ			
1	968.1	1295.6	0.0525	0.0017	0.2741	0.0085	0.0378	0.0004	306	78.7	246	6.8	239	2.6	97%	0.75	239
2	426.8	1038.4	0.0520	0.0018	0.2915	0.0099	0.0405	0.0004	283	75.0	260	7.7	256	2.6	98%	0.41	256
3	160.2	300.9	0.0620	0.0033	0.3192	0.0162	0.0377	0.0007	676	108.3	281	12.5	238	4.4	83%	0.53	238
4	262.6	409.2	0.0511	0.0024	0.2568	0.0122	0.0366	0.0006	256	109.2	232	9.9	231	3.6	99%	0.64	231
5	285.4	731.7	0.0535	0.0021	0.2826	0.0108	0.0382	0.0005	350	87.0	253	8.6	241	3.3	95%	0.39	241
6	212.6	368.2	0.0543	0.0026	0.2847	0.0135	0.0381	0.0005	383	76.8	254	10.7	241	3.1	94%	0.58	241
7	1353.9	4806.6	0.0501	0.0013	0.2710	0.0074	0.0390	0.0005	211	30.6	244	5.9	247	3.0	98%	0.28	247
8	1005.2	4296.5	0.0510	0.0014	0.2884	0.0085	0.0408	0.0006	239	63.0	257	6.7	258	3.7	99%	0.23	258
9	209.3	404.9	0.0512	0.0028	0.2628	0.0149	0.0370	0.0005	256	127.8	237	12.0	234	3.4	98%	0.52	234
10	203.3	392.2	0.0546	0.0028	0.2876	0.0136	0.0387	0.0006	398	116.7	257	10.7	245	3.9	95%	0.52	245
11	232.0	388.1	0.0625	0.0036	0.3312	0.0191	0.0382	0.0006	700	122.2	290	14.6	242	3.5	81%	0.60	242
12	903.7	926.6	0.0531	0.0022	0.2783	0.0115	0.0379	0.0006	332	92.6	249	9.2	240	3.6	95%	0.98	240
13	238.3	284.8	0.0519	0.0029	0.2907	0.0153	0.0409	0.0008	283	127.8	259	12.1	259	4.9	99%	0.84	259
14	158.1	299.8	0.0495	0.0038	0.2661	0.0207	0.0394	0.0008	172	170.3	240	16.6	249	5.2	96%	0.53	249
15	166.8	323.7	0.0552	0.0039	0.2925	0.0201	0.0388	0.0006	417	161.1	260	15.8	246	4.0	94%	0.52	246
16	139.4	157.8	0.0570	0.0050	0.3203	0.0257	0.0418	0.0010	500	196.3	282	19.7	264	6.2	93%	0.88	264
17	343.6	480.4	0.0535	0.0028	0.2910	0.0147	0.0397	0.0007	350	115.7	259	11.6	251	4.4	96%	0.72	251
18	161.1	328.6	0.0548	0.0030	0.2894	0.0158	0.0385	0.0007	467	122.2	258	12.4	243	4.2	94%	0.49	243
19	102.9	203.6	0.0418	0.0030	0.2265	0.0146	0.0401	0.0008	346	346	245	12.1	253	5.0	80%	0.51	253
20	202.3	340.8	0.0516	0.0030	0.2775	0.0170	0.0388	0.0007	265	133.3	249	13.5	245	4.5	98%	0.59	245
21	403.3	748.2	0.0534	0.0024	0.2691	0.0111	0.0369	0.0006	346	346	242	8.9	233	3.5	96%	0.54	233
22	334.8	762.4	0.0541	0.0023	0.2970	0.0123	0.0397	0.0005	376	99.1	264	9.6	251	3.1	95%	0.44	251
23	280.0	402.8	0.0515	0.0032	0.2800	0.0182	0.0389	0.0006	265	172.2	251	14.4	246	4.0	98%	0.69	246
24	378.1	984.9	0.0579	0.0023	0.3323	0.0138	0.0414	0.0005	528	88.9	291	10.5	261	3.3	89%	0.38	261

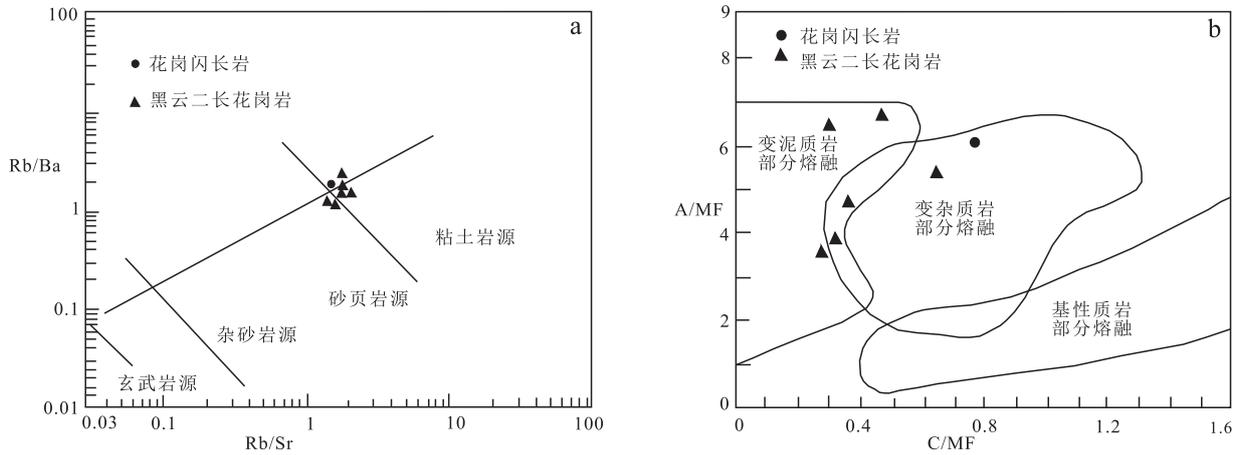


图 10 沙乐花岗岩的 Rb/Ba - Rb/Sr (a) (据 Sylvester, 1998) 和 $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{TFeO}) - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO} + \text{TFeO})$ (b) (据 Alther 等, 2000)

Fig. 10 Rb/Ba vs. Rb/Sr diagram of the Shale granites (a) (after Sylvester, 1998) and $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{TFeO})$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO} + \text{TFeO})$ diagram of the Shale granites (b) (after Alther et al., 2000)

有较为强烈分异的分离结晶作用存在,说明岩石形成于较稳定的构造环境,这与板内花岗岩相似,应形成于俯冲-碰撞岩浆弧转换环境。沙乐岩体花岗岩既有岛弧花岗岩的特征,又有板内花岗岩的特征,部分具碰撞花岗岩的特征,表明昌宁-孟连洋碰撞最早时限可追溯到早三叠世。

5.4 构造意义

沙乐花岗岩体岩石组合属俯冲-同碰撞的花岗闪长岩-黑云二长花岗岩组合。本次野外工作在南涧县老家库一带采集的花岗闪长岩获锆石 U-Pb 年龄 $271.9 \pm 2.5\text{Ma}$ (另有文章报道)。据俞赛赢等 (2003) 对被二长花岗岩主体岩性所侵入或呈残留体或捕虏体存在的花岗闪长岩进行锆石 U-Pb 定年时获得了 $269 \pm 37\text{Ma}$ 的年龄^[11],可推断 270Ma 左右为二叠纪古特提斯洋俯冲形成弧岩浆岩的时限。

南澜沧江带下三叠统普遍缺失,而沙乐花岗岩形成于早三叠世,说明缅甸马微大陆与思茅地块的碰撞作用最早时限发生于早三叠世。碰撞作用使陆壳增厚、压力及温度迅速增加,增温效应使增厚陆壳部分熔融形成本期花岗岩。由此可知,三江地区昌宁-孟连洋在二叠纪左右俯冲形成弧岩浆岩,早三叠世是缅甸马陆块与思茅地块碰撞初始阶段,中一晚三叠世以来进入了碰撞后造山阶段。岩浆弧的分布范围应向东扩展到无量山一带,传统意义上的澜沧江断裂并不是岩浆弧东部边界。

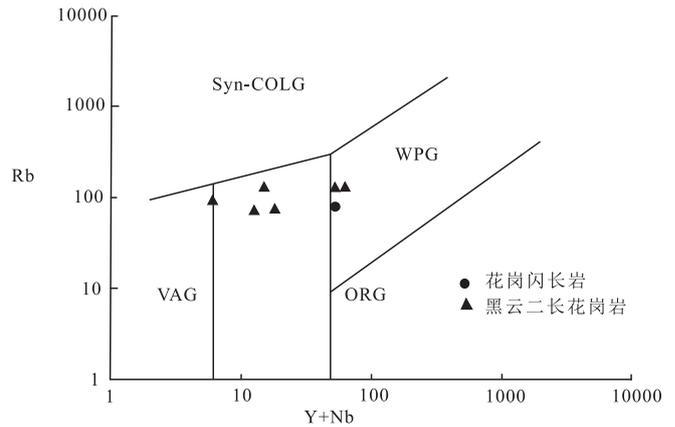


图 11 沙乐花岗岩岩体 (Y + Nb) - Rb 图解 (据 Pearce, 1996) VAG. 火山弧花岗岩; Syn-COLG. 同碰撞花岗岩; WPG. 板内花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩

Fig. 11 (Yb + Nb) vs. Rb diagram of the Shale granites (after Pearce, 1996)

6 结论

(1) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法测得沙乐黑云二长花岗岩样品 (D0007) 的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $246.4\text{Ma} \pm 2.6\text{Ma}$ (MSWD = 2.9), 花岗闪长岩样品 (D0009) 的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $245.7\text{Ma} \pm 3.6\text{Ma}$ (MSWD = 5.6), 代表了该花岗岩体的形成时代为早三叠世, 表明兰坪-思茅地块在 246Ma 左右的早三叠世发生了较大规模的酸性岩浆活动。

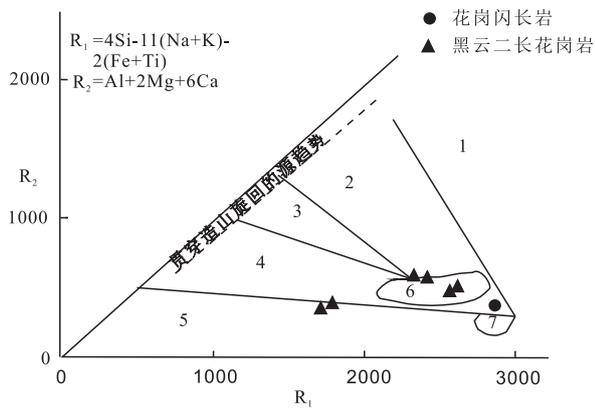


图 12 沙乐花岗岩岩体 R_1 - R_2 图解

1. 地幔分异的花岗岩;2. 碰撞前花岗岩;3. 碰撞后隆起的花岗岩;4. 造山晚期-晚造山期花岗岩;5. 非造山期花岗岩;6. 同碰撞花岗岩;7. 造山期后花岗岩

Fig. 12 R_1 vs. R_2 diagram of the Shale granites

(2)沙乐花岗岩的岩石地球化学特征反映出该早三叠世花岗岩具有板内-岛弧型花岗岩-同碰撞花岗岩的地球化学特征,其岩浆来源于含砂质的变质泥质岩系部分熔融的产物。

(3)沙乐花岗岩侵入于古生界无量山岩群,本区并未获得无量山岩群的确切 U-Pb 锆石年龄,沙乐花岗岩年龄的测定,可间接说明本区无量山岩群沉积时代不晚于早三叠世。

(4)沙乐花岗岩岩浆形成于俯冲-碰撞岩浆弧转换的大地构造背景,其早三叠世侵位时代的测定,说明昌宁-孟连洋碰撞最早时限可追溯到早三叠世。

致谢 锆石 LA-ICP-MS 分析和阴极发光照片得到了南京宏创地质勘查技术服务有限公司袁秋云的帮助。审稿人提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 孔会磊,董国臣,莫宣学,等. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因:地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2012, 28(5):1438-1452.

[2] 邹光富,毛英,林仕良,等. 滇西梁河勐养花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2013, 33(1):87-99.

[3] 丛峰,林仕良,李再会,等. 滇西腾冲地块片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质学报, 2009, 83(5):651-658.

[4] 邹光富,毛英,邹鑫,等. 滇西芒市江东花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 地质学报, 2013, 87(11):1635-1646.

[5] 陈吉琛. 滇西花岗岩类形成的构造环境及岩石特征[J]. 云南地质, 1989, (z1):205-212.

[6] 从柏林,吴根耀. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23(11):1201-1207.

[7] 李兴林. 临沧复式花岗岩基的基本特征及形成构造环境的研究[J]. 云南地质, 1996, 15:1-18.

[8] 刘昌实,朱金初,徐夕生,等. 滇西临沧复式岩基特征研究[J]. 云南地质, 1989, (3):189-204.

[9] 刘德利,刘继顺,张彩华,等. 滇西南澜沧江结合带北段云县花岗岩的地质特征及形成环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(1):23-31.

[10] 吕伯西,王增,张能德,等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京:地质出版社, 1993.

[11] 俞赛赢,李昆琼,施玉萍,等. 临沧花岗岩基中段花岗岩类研究[J]. 云南地质, 2003, 22(4):426-442.

[12] 兰双双,李光明,马东方,董磊. 西藏当雄地区拉屋矿床二长花岗岩地球化学特征及构造背景[J]. 沉积与特提斯地质, 2016, 36(3):1-7.

[13] 彭头平,王岳军,范蔚茗,等. 澜沧江南段早中生代酸性火成岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及构造意义[J]. 中国科学(D辑), 2006, 36(2):123-132.

[14] 王立成,李亚林,王成善. 藏南吉隆-萨嘎地区侏罗系两期变形的厘定及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2):45-48.

[15] 廖忠礼,潘桂棠,朱弟成,等. 西藏过铝花岗岩矿物化学特征及其岩石学意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4):15-24.

[16] 熊兴国,岳龙,徐安全,等. 西藏羌塘达尔应强过铝花岗岩地球化学特征及地球动力学意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4):40-46.

[17] 兰双双,汪雄武,李光明,等. 西藏克鲁-冲木达矿集区晚白垩世花岗岩类地质地球化学特征及成矿潜力浅析[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(4):76-85.

[18] 张璋,耿全如,彭智敏,等. 班公湖-怒江成矿带西段玛玛花岗岩体岩石地球化学及年代学[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(4):86-96.

[19] 张旗,王元龙,金惟俊,等. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别[J]. 地质通报, 2008, 27(1):1-18.

[20] Hu Z, Gao S, Liu Y, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2008, 23(8):1093-1101.

[21] Hu Z, Liu Y, Gao S, et al. A "wire" signal smoothing device for laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry analysis [J]. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy, 2012, 78(78):50-57.

[22] Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, et al. Three natural zircon

- standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [J]. *Geostandards & Geoanalytical Research*, 1995, 19(1):1-23.
- [23] Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2003.
- [24] 王海然, 赵红格, 乔建新, 等. 锆石 U-Pb 同位素测年原理及应用[J]. *地质与资源*, 2013, 22(3):229-242.
- [25] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements [J]. *Lithos*, 1989, 22(4):247-263.
- [26] Maniar P D, Piccolli P M. Tectonic discrimination granitoids [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1989, 101(5):635-643.
- [27] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, 1989, 42:313-345.
- [28] Alther R, Holl A, Hegner E. High-potassium, calc-alkaline plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 2000, 50:51-73.
- [29] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 1998, 45(1-4):29-44.
- [30] Pearce J A. Sources and setting of granitic rocks [J]. *Episodes*, 1996, 19(4):120-125.

The Shale granites from the southern part of the Lancangjiang tectonic belt, western Yunnan: Zircon U-Pb age, geochemistry and geological implications

LIU Jun-ping¹, TIAN Su-mei¹, CONG Feng², SUN Bai-dong¹, HUANG Xiao-ming¹, XU Yun-fei^{1, 3}

(1. *Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, Yunnan, China*; 2. *Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China*; 3. *Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China*)

Abstract: The Shale granites from Shale, Nanjian, western Yunnan consist of biotite monzogranite, granodiorite and a small amount of orthophyre. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating gives an age of 246.4 ± 2.6 Ma for biotite monzogranite, and 245.7 ± 3.6 Ma for granodiorite, indicating that the Shale granites were formed during the Early Triassic. The Shale granites are characterized by SiO_2 contents ranging from 71.44% to 76.39%, Al_2O_3 contents ranging from 12.72% to 16.15%, and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios ranging from 1 to 1.30, suggesting the high-K calc-alkaline peraluminous and strongly peraluminous granites. The samples of the Shale granites mostly projected into the fields of volcanic arc granites, within plate granites and collision-type granites indicated by the geochemical signatures and trace element discrimination diagram for tectonic interpretation, implying that the granites were formed in the subduction-collision magmatic arc transitional environments. The Sr-Yb diagram for the granite classification has disclosed that most of the Shale granite samples are assigned to the low-Sr and high-Yb granites, and a few of them belong to the low-Sr and low-Yb granites, both of which are derived from the sandy metamorphic mudstones. It can be seen from the zircon U-Pb age determinations and regional tectonic setting that the Shale granites were originated during the initial stages of the collision and mountain building processes of the Myanmar-Thailand-Malaysia continent and Simao landmass. The initial collision of the Changning-Menglian ocean may be traced back to the Early Triassic.

Key words: Shale granite; zircon U-Pb age; geochemistry; Lancangjiang tectonic belt