引用格式:李善平,李延京,任华,等.青海三江北段拉地页玛地区印支期花岗岩地球化学特征及地质意义[J].中国地质调查,2016,3(1):35-43.

青海三江北段拉地贡玛地区印支期花岗岩 地球化学特征及地质意义

李善平1,李延京2,任 华1,林 浩3,金婷婷1,窦永斌1

(1. 青海省地质调查院 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 西宁 810012;
 2. 青海省海东市地震局, 海东 810600; 3. 青海大学, 西宁 810016)

摘要:拉地贡玛地区花岗岩处于金沙江缝合带内,区域上隶属西金乌兰一金沙江缝合带的物质组成部分,在研究 区属通天河构造岩浆岩带。据出露岩石类型,将其划分为3个单元:拉地贡玛花岗闪长岩(T₃γδ)、日阿日曲石英 闪长岩(T₃δo)、缅切英云闪长岩(T₃δi)。岩浆侵位时代为晚三叠世;侵入岩体是以高硅富铝、多碱质和挥发组分 为特征的兼具 I 型和 S 型花岗岩,属过铝质花岗岩;轻重稀土分馏程度明显,轻稀土富集,Eu、Ce 呈弱负异常,Rb、 Th、Ba 等元素富集,Y、Yb、Cr 等元素亏损,具 I 型和 S 型花岗岩的特点,与火山弧钙碱性花岗岩特征相似。研究区 花岗岩形成构造环境与晚三叠世多彩一当江构造混杂带的俯冲作用有关,是与俯冲汇聚构造环境有关的大陆碰 撞弧型花岗岩。

关键词:青海三江北段;金沙江缝合带;花岗岩;地球化学;构造环境

中图分类号: P588.121 文献标志码: A 文章编号: 2095-8706(2016)01-0035-09

0 引言

金沙江缝合带是青藏高原北部一条重要的板 块俯冲 - 碰撞缝合带^[1-2],沿拉竹龙一西金乌兰 湖一巴塘一金沙江一线分布,向南经哀牢山一藤条 江一带与越南境内的黑水河缝合带相接,向北延入 治多地区之后,由 SN 向转为 NW 向,延伸至西金乌 兰湖等地。对金沙江缝合带的研究主要集中在缝 合带的东段^[3-9];近年来,对延入治多地区及西金 乌兰湖等地的缝合带研究才逐步显现^[10-12]。历来 对金沙江缝合带的构造属性及其演化存在分歧,翟 庆国^[13]认为早二叠世在羌塘盆地中部发育完整的 蛇绿岩组合,并存在威尔逊旋回过程;王培生^[9]认 为蛇绿岩形成于中一晚石炭世至晚三叠世岛弧环 境中;任纪舜^[14]认为古金沙江洋在晚二叠世至中 三叠世为转换盆地;孙晓猛^[7]对金沙江蛇绿混杂 岩石进行了研究,确定其就位时代为早、中三叠世; 黄汲清^[1]认为金沙江古特提斯蛇绿岩带代表了大 洋环境,是在二叠纪至三叠纪期间分开欧亚大陆和 冈瓦纳大陆的最重要板块缝合带;而王传尚^[15]则 认为金沙江缝合带是华力西缝合带,青藏高原地区 不存在具古生物、古地理分隔意义的古生代大洋。 金沙江缝合带北段火成岩以中酸性侵入岩为主,其 次为晚三叠世巴塘群火山岩;莫宣学^[16]认为火成 岩构造组合是研究造山带火山作用与大地构造关 系的基本方法。本文对拉地贡玛等地区印支期花 岗岩岩石组合的研究,将为金沙江缝合带西延至青 海三江北段地区的构造属性提供重要的岩石地球 化学依据。

1 区域地质特征

金沙江缝合带位于羌塘块体和松潘一甘孜块体之间,是两块体的分界线,大致呈近 NW—SE 向展布(图1)。金沙江缝合带在晚石炭世至早二叠

收稿日期: 2015-06-12;修订日期: 2015-11-20。

基金项目:中国地质调查局"青海三稀资源调查(编号:2012000100630144)"和"青海省科技计划项目(编号:2014-Z-Y06,Y19,2015-ZJ-763,2014-ZJ-701)"联合资助。

第一作者简介:李善平(1974—),男,高级工程师,主要从事区域地质及矿床地质研究。Email: lishanping1952@163.com。





Qh^{al}. 冲积; Qp₃^{al}. 冲积; Nq. 曲果组; T₃B¹. 巴颜喀拉山群; T₃Bt₁. 下碎屑岩组; T₃Bt₂. 火山岩组; Tkn₁. 下碎屑岩组; Tkn₂. 火山岩 组; P₁₋₂a. 碎屑岩组; P₁₋₂b. 火山岩组; P₁₋₂c. 碳酸盐岩组; Pv. 辉长岩; Pβ. 玄武岩; T₃γδR. 花岗闪长岩; T₃γδL. 花岗闪长岩; T₃γδoM. 花岗闪长岩; J₃γδ. 花岗闪长岩; J₃δoS. 石英闪长岩。1. 地质界线; 2. 断层; 3. 韧性剪切带; 4. 角度不整合界线; 5. 测区位 置; 6. 花岗闪长岩; 7. 石英闪长岩

世为扩张期,中、晚二叠世洋盆已开始缩小,洋壳开 始向西俯冲,并在中、晚三叠世碰撞拼合[16]。测区 拉地贡玛地区花岗岩隶属通天河蛇绿混杂岩带,该 带在区域上属西金乌兰一金沙江缝合带的物质组 分,蛇绿混杂岩与围岩一起受到后期构造的强烈影 响,其原始层位已完全被改造,呈不连续长条状、透 镜状构造岩块产出。拉地贡玛地区花岗岩区域上 受通天河蛇绿混杂带内的 NW—SE 向区域断裂控 制,呈长条带状分布,成带延展性好,出露侵入体8 个,面积约200 km²,集中出露于拉地贡玛、缅切、聂 恰曲、日阿日曲、多彩等地一带,由晚三叠世花岗岩 和晚侏罗世花岗岩组成,二者之间呈超动型侵入接 触关系,呈NW-SE 向条带状分布在构造混杂岩带 的南侧(图1)。岩石以透入性片麻理的普遍发育 为特征,由于受不同时期脆韧性构造变形和后期岩 浆侵入的改造,岩体整体形态多不完整,平面形态 呈似椭圆状、长条带状 NW-SE 向展布: 部分侵入 体呈岩片状产出。

根据拉地贡玛地区出露的岩石类型可进一步划 分为3个单元,分别为拉地贡玛花岗闪长岩 $(T_3\gamma\delta)$ 、缅切英云闪长岩 $(T_3\delta i)$ 、日阿日曲石英闪 长岩 $(T_3\delta_0)$ 。其中在聂恰曲一带可见拉地贡玛花 岗闪长岩 $(T_{\lambda}\gamma\delta)$ 与日阿日曲石英闪长岩 $(T_{\lambda}\delta\sigma)$ 呈 脉动型侵入接触,而缅切英云闪长岩与其他两侵入 体未见直接接触。缅切英云闪长岩、拉地贡玛花岗 闪长岩侵入到早三叠世通天河蛇绿混杂岩和晚三 叠世巴塘群中,虽然岩体边部片麻理产状与围岩片 (麻)理产状协调一致,但侵入接触关系清楚。主要 表征:岩体边部(即内接触带)含有较多的不规则 状、棱角状围岩捕虏体,其大小不一,成分为片麻岩 类及变火山岩类,其中以变火山岩居多,平行接触 带及岩体的面理走向定向分布;侵入接触界线清 楚,界面锯齿状、波状弯曲不平,一般外倾,倾角 50°~70°;外接触带见相关岩枝穿插,围岩具角岩 化、硅化蚀变,烘烤现象明显,接触蚀变带宽5~ 60 cm.

日阿日曲片麻状花岗闪长岩与拉地俄玛—日 阿日吉龙一带燕山期花岗闪长岩体呈超动型侵入 接触关系,岩体普遍发育片麻状构造,并具糜棱岩 化等明显的后期改造。其中含暗色闪长质细粒体 包体,一般3 cm×6 cm~5 cm×20 cm 大小,分布不 均匀,呈长条状定向排列,并与岩体的面理产状一 致。另外,具有较为强烈的蚀变、混染现象,从石英 闪长岩到花岗闪长岩均发育较为强烈的绿帘石化 和钾质交代现象,岩体中各种后期侵入体的岩脉和 区域性花岗质岩脉亦较为发育。

缅切地区花岗岩中各侵入体与围岩的接触关系 受后期构造的改造,侵入接触关系清楚,界线明显, 外接触带发育宽5~60 m的角岩化、硅化蚀变带,裂 隙中见相关岩枝穿插。受区域构造应力作用,侵入 体展布方向与区域构造方向近一致。侵入体中发育 的围岩包体,大多沿内接触带分布,岩体内部相对减 少,包体呈棱角状、不规则状,大小不一,无规律分 布。侵入体间部分界线清楚,呈脉动型接触。

综上所述,拉地贡玛地区各侵入体是以一种被 动的岩墙扩张作用和强烈的岩浆多次脉动作用为 主、顶蚀作用为辅的被动就位机制进行定位的。

李勇^[18]对处于同一缝合带西藏飞马滩花岗岩 测定的 K-Ar 年龄为 240 Ma,标定了金沙江缝合 带西段碰撞花岗岩的时代,认为晚三叠世为金沙江 缝合带的碰撞和关闭时期,为主碰撞和造山事件。 在1:20万治多幅区调^[19]工作中获得了该期次岩 石中较多的同位素年龄信息: 缅切英云闪长岩中 黑云母 K-Ar 年龄为 189 Ma; 日阿日曲石英闪长 岩中黑云母 K - Ar 年龄为 184 Ma。本次对在日阿 日曲地区采集的片麻状石英闪长岩进行了单颗粒 锆石 U-Pb 法同位素年龄测定,其中4 颗锆石所构 成的谐和线年龄为(215.4±0.8) Ma, 第5 颗锆 石²⁰⁶Pb/²³⁸U表面年龄为(220.7±0.7) Ma。分析 认为,该期次花岗岩岩浆开始结晶时代为220 Ma, 而 215 Ma 代表了本期岩浆活动早期侵位的时代。 由于该花岗岩明显侵入到石炭纪一三叠纪通天河 蛇绿混杂岩中,并且与上述围岩发育协调的片麻理 及糜棱面理构造,表明侵入岩的侵位时代早于该区 变质变形的主期,后期早侏罗世花岗岩体超动侵入 其中。由此,宜将拉地贡玛地区岩浆侵位时代定为 晚三叠世。这与西金乌兰一金沙江构造带晚三叠 世汇聚的大地构造演化阶段相吻合,是板块汇聚到 一定阶段的物质响应^[18]。

2 岩相学特征

拉地贡玛地区花岗岩总体上呈浅灰白色—浅 灰绿色,岩石色率不超过10%,并以细粒半自形粒 状结构、片麻状构造为其特征。岩石中多数造岩矿 物均有不同程度的蚀变现象,如长石类矿物多具粘 土、绢云母及含铁的高岭土化,以致于斜长石多为 假晶。这种现象在接触带、构造破碎带更为明显, 说明后期地质作用的非均一性。

(1)拉地贡玛花岗闪长岩(T₃γδ)。呈灰白色, 中细粒花岗结构、糜棱结构,块状、弱片麻状构造。
岩石主要由石英(1~2 mm,25%)、斜长石(2~
3 mm,40%~50%)、钾长石(15%~20%)、角闪石(5%~8%)、黑云母(2%~3%)及白云母(1%~
2%)组成。斜长石以更长石为主,多呈板状半自形,个别呈它形粒状,具有强烈的粘土化和绿帘石化,聚片双晶、钠式双晶常见,双晶发生弯曲、膝折现象;钾长石呈它形晶,高岭土化,格子状双晶极不发育,为微斜长石;石英微细粒它形粒状,有时呈长柱状、带状、波状消光或镶嵌式消光显著,定向分布,矿物晶体长轴排列方向与黑云母片理排列方向一致;黑云母呈棕色,部分被绿泥石交代,定向排列,与角闪石和拉长的石英颗粒一起构成片麻状构造。副矿物以磁铁矿、锆石、磷灰石为主。

(2)日阿日曲片麻状石英闪长岩(T₃δo)。呈浅 灰一灰绿色,中细粒半自形粒状结构、糜棱结构、变 余花岗结构,片麻状构造。可见角闪石双晶或变形 双晶,以及斜长石变形双晶和聚片双晶弯曲现象。 斜长石 0.1~2 mm,板状半自形,环带结构发育,为 更长石,可见双晶弯曲、波状消光现象,含量 55%; 石英呈它形不规则状,波状、豆荚状消光,定向性排 列,含量 10%;黑云母,绿泥石化,含量 8%;普通 角闪石 0.4~3.5 mm,半自形,绿帘石化,偶含更长 石包裹体,含量 20%;绿帘石 2%~10%,有时呈细 脉状穿插于岩石中; 钾长石含量不等,最多可达 5%;副矿物含量 3%,以磷灰石、磁铁矿为主。

(3)缅切片麻状英云闪长岩(T₃δi)。呈灰白 色一浅灰绿色,糜棱结构、变余中细粒花岗结构,片 麻状构造。岩石主要由石英(20%~25%)、斜长石 (60%~70%)、钾长石(3%~10%)、角闪石(4%) 及黑云母(5%~15%)组成。暗色矿物和条带状石 英多呈定向分布,显示片麻理。斜长石呈半自形板

(%)

状,聚片双晶发育,被钾长石交代成蠕虫结构,可见 高岭土化、绢云母化; 钾长石为正条纹长石,粒内 有斜长石包体; 石英呈强带状、波状消光; 黑云母 多绿泥石化。副矿物有磷灰石、锆石、榍石和磁 铁矿。

该期次花岗岩的矿物含量变化范围广,矿物成 分不均一,但主要矿物种类基本相同,如斜长石均 为中一更长石,钾长石为微斜长石和微斜条纹长 石,均含有角闪石暗色矿物等。由早期侵入体至晚 期侵入体,随着石英的增多,钾长石、黑云母逐渐增高,而角闪石明显减少,表明该期次的花岗岩具有同源岩浆演化的特点。

3 岩石地球化学特征

3.1 岩石化学特征

由拉地贡玛地区花岗岩主量元素分析结果(表 1)可见,各侵入体成分演化特征明显,SiO₂含量变

表 1 拉地贡玛地区花岗岩主量元素分析结果 Tab. 1 Bulk – rock major elements data for granites in Ladigongma area

样品号	岩性	SiO_2	${\rm TiO}_2$	Al_2O_3	$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K ₂ 0	P_2O_5	${\rm H_{2}O^{+}}$	烧失量	总量
3GS57	花岗闪长岩	68.38	0.51	14.54	0.91	1.98	0.05	0.99	2.25	4.38	3.07	0.10	1.44	1.22	99.82
3GS663 – 1	花岗闪长岩	68.44	0.49	14.27	0.59	3.38	0.09	2.12	4.70	2.13	2.25	0.08	1.17	0.10	99.81
3P2GS5 – 2	石英闪长岩	50.21	1.01	19.13	1.34	8.57	0.20	5.09	7.55	2.43	1.63	0.22	2.17	0.10	99.65
3GS664 – 1	石英闪长岩	57.15	0.50	15.87	1.24	5.72	0.13	5.31	10.16	1.80	0.31	0.09	1.53	0.03	99.84
3GS48 – 1	石英闪长岩	61.05	0.76	14.60	0.66	5.25	0.12	4.94	7.36	2.08	0.64	0.11	2.11	0.13	99.81
3GS1858 - 1	花岗闪长岩	76.53	0.21	11.94	1.10	1.15	0.05	0.88	1.72	3.77	1.14	0.05	1.07	0.26	99.87
3GS344 – 1	花岗闪长岩	69.03	0.50	13.84	1.74	3.08	0.09	1.38	4.74	3.07	1.12	0.08	1.05	0.10	99.82
3P2GS4 – 1	英云闪长岩	66.27	0.55	14.49	3.02	2.63	0.09	2.34	3.47	3.05	1.27	0.11	1.82	0.62	99.73
3GS675 – 2	英云闪长岩	62.89	0.63	16.39	0.79	4.78	0.12	2.11	5.90	2.52	1.33	0.11	2.05	0.20	99.82
3GS693 – 2	英云闪长岩	64.83	0.53	15.49	0.71	3.75	0.09	2.80	5.54	2.28	2.33	0.09	1.29	0.10	99.83
3P2GS13 - 1	石英闪长岩	53.78	0.52	18.76	0.68	7.10	0.17	5.60	6.33	1.66	1.21	0.12	2.51	0.95	99.39
3GS1523 – 1	石英闪长岩	57.57	0.57	15.40	1.29	5.36	0.13	6.79	8.09	2.20	0.65	0.09	1.12	0.75	100.01

注:样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

化较大,介于 50.21%~76.53% 之间, Al, O, 的含量 为11.94%~19.13%; K, O 含量为 0.31%~ 3.07%, K, O/Na, O 比值为 0.17~1.06, 平均为 0.55,显示具有富钠贫钾的特性;岩石介于过铝质 岩石和偏铝质岩石的过渡区,大部分岩石 Al₂O₃ > CaO + Na₂O + K₂O, 部分为 CaO + Na₂O + K₂O > Al₂O₃ > Na₂O + K₂O₀ Sylvester^[20] 研究表明,相对泥质 岩熔融生成的强过铝质花岗岩,砂屑岩熔融生成的强 过铝质花岗岩 CaO/Na, O > 0.3。花岗岩CaO/Na, O 变 化范围为0.46~5.64,平均为2.53,远大于0.3,反映其 形成的原岩主要是以含泥质、砂屑成分较高的前寒 武纪结晶基底重熔形成。里特曼指数 σ 为 0.31 ~ 2.24,碱度率(AR)介于1.26~2.60之间,平均为 1.57,属钙碱性系列。固结指数 SI 变化范围为 10.95~41.68,平均为24.19; 分异指数 DI 变化范 围为35.28~88.26,岩体结晶分异程度较高,说明 该岩体具有下地壳熔融形成的 S 型花岗岩特征。 A/CNK 变化范围为1.29~2.04,平均为1.61,均大 于1.1,属于过铝质花岗岩;在花岗岩K,O-SiO,岩

浆系列判别图解(图2)中,该期花岗岩的所有样品 均投图在钙碱性系列,进而在花岗岩 ACF 图解(图 3)中投图,多数点投于 S型花岗岩区内,且靠近 I 型接触边界,显示该期花岗岩兼具 I型和 S型花岗 岩的特点。





综上所述,拉地贡玛花岗岩体是以高硅富铝、 多碱质和挥发组分为特征的兼具 I 型和 S 型花岗 岩,属过铝质花岗岩,可能形成于大陆碰撞环境。

3.2 稀土元素特征

一般而言,一次岩浆事件稀土元素总量 (Σ REE)及轻重稀土元素比(LREE/HREE)在早期 的侵入体比较小,而随着岩浆的演化,晚期侵入体 总量大且分异较好,比值增大。由稀土元素分析结 果(表2、表3)显示,(Σ REE)变化范围为49.14× 10⁻⁶~126.19×10⁻⁶,平均为96.43×10⁻⁶, LREE/ HREE 变化范围为2.81~8.85,平均为5.84,(La/ Sm)_N变化范围为1.23~4.66,平均为3.02,显示轻

表 2 拉地贡玛地区花岗岩稀土元素(REE)分析结果

Tab. 2 Bulk-rock rare earth elements data for granites in Ladigongma area

 (10^{-6})

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
3XT57	17.64	39.50	5.85	24.22	5.89	1.14	6.03	1.07	6.55	1.32	3.83	0.60	3.88	0.58	32.56
3XT663 – 1	28.09	54.14	6.09	20.20	3.96	0.90	3.73	0.61	3.43	0.72	1.85	0.29	1.89	0.29	17.83
3P2XT5 – 2	18.23	53.16	9.14	38.99	9.32	1.41	8.70	1.52	8.92	1.96	5.92	0.95	6.43	0.95	49.35
3XT664 – 1	7.10	17.46	2.67	11.53	3.35	0.73	4.02	0.73	4.37	0.90	2.42	0.37	2.11	0.30	21.68
3XT48 – 1	17.00	36.41	4.62	17.78	3.95	0.99	3.67	0.63	3.69	0.72	2.01	0.32	2.04	0.30	17.64
3XT1858 – 1	17.05	31.13	3.79	13.61	2.68	0.55	2.53	0.41	2.67	0.57	1.72	0.28	2.03	0.32	13.95
3XT344 – 1	13.15	26.29	3.22	13.18	3.42	0.89	3.90	0.69	4.13	0.88	2.46	0.39	2.65	0.41	21.61
3P2XT4 – 1	30.24	53.95	6.28	21.17	4.08	0.92	3.70	0.59	3.68	0.73	2.29	0.36	2.26	0.35	18.94
3XT675 – 2	21.14	38.21	4.59	15.68	3.34	0.89	3.08	0.49	2.86	0.58	1.53	0.24	1.41	0.21	14.30
3XT693 – 2	22.49	43.82	4.98	17.82	3.47	0.90	3.17	0.52	2.98	0.60	1.65	0.28	1.75	0.26	27.19
3P2XT13 – 1	12.51	22.77	2.95	11.10	2.53	0.78	2.38	0.37	2.18	0.50	1.36	0.22	1.53	0.23	11.43
3XT1523 - 1	8.36	16.15	2.36	8.70	2.24	0.71	2.54	0.45	2.79	0.63	1.84	0.28	1.81	0.28	14.37

注:样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

表 3 拉地贡玛地区花岗岩稀土元素(REE)特征参数

Tab. 3 Characteristic parameters of REE of granites in Ladigongma area

 (10^{-6})

样品号	\sum REE	LREE	HREE	LREE/HREE	La/Yb	La/Sm	Sm/Nd	Gd/Yb	$(La/Yb)_N$	$\left(\text{La/Sm}\right)_{\text{N}}$	$(Gd/Yb)_N$	$\delta_{ ext{Eu}}$	$\delta_{ ext{Eu}}$ 🛱	$\delta_{ m Ce}$
3XT57	118.10	94.24	23.86	3.95	4.55	2.99	0.24	1.55	3.07	1.88	1.25	0.58	0.58	0.93
3XT663 – 1	126.19	113.38	12.81	8.85	14.86	7.09	0.20	1.97	10.02	4.46	1.59	0.71	0.72	0.95
3P2XT5 – 2	165.60	130.25	35.35	3.68	2.84	1.96	0.24	1.35	1.91	1.23	1.09	0.47	0.48	0.98
3XT664 – 1	58.06	42.84	15.22	2.81	3.36	2.12	0.29	1.91	2.27	1.33	1.54	0.61	0.61	0.96
3XT48 – 1	94.13	80.75	13.38	6.04	8.33	4.30	0.22	1.80	5.62	2.71	1.45	0.78	0.80	0.97
3XT1858 – 1	79.34	68.81	10.53	6.53	8.40	6.36	0.20	1.25	5.66	4.00	1.01	0.64	0.65	0.90
3XT344 – 1	75.66	60.15	15.51	3.88	4.96	3.85	0.26	1.47	3.35	2.42	1.19	0.74	0.75	0.95
3P2XT4 – 1	130.60	116.64	13.96	8.36	13.38	7.41	0.19	1.64	9.02	4.66	1.32	0.71	0.72	0.90
3XT675 – 2	94.25	83.85	10.40	8.06	14.99	6.33	0.21	2.18	10.11	3.98	1.76	0.83	0.85	0.89
3XT693 - 2	104.69	93.48	11.21	8.34	12.85	6.48	0.19	1.81	8.66	4.08	1.46	0.82	0.83	0.96
3P2XT13 – 1	61.41	52.64	8.77	6.00	8.18	4.94	0.23	1.56	5.51	3.11	1.26	0.96	0.97	0.87
3XT1523 – 1	49.14	38.52	10.62	3.63	4.62	3.73	0.26	1.40	3.11	2.35	1.13	0.91	0.91	0.86

注:样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

重稀土元素分馏程度显著,且具轻稀土元素富集性特征。负 Eu 异常是判别花岗岩源区的重要标志,因源区愈深,其分离结晶作用愈强时才能使残余岩

浆转变为酸性成分^[23],花岗岩中矿物斜长石是分 离结晶过程中常见的矿物相,其分离直接导致残余 岩浆中铕(Eu)的亏损,分离程度愈强,残余岩浆中

 (10^{-6})

Eu 的亏损亦愈明显。测区花岗岩中 δ_{Eu} 变化范围 为 0.47~0.96,平均为 0.73, Eu 呈负异常; δ_{Ce} 显示 弱的负异常(δ_{Ce} 介于 0.86~0.98之间,平均为 0.93); 在稀土元素球粒陨石标准化图解(图4)中, 测区花岗岩稀土曲线呈右倾平滑趋势, Eu具负异



图 4 拉地贡玛地区花岗岩 REE 球粒陨石标准化图 Fig. 4 Chondrite – normalized REE pattern for granites in Ladigongma area

常特征。毛景文^[24]认为稀土元素配分图解显示花 岗岩具有一定的负 Eu 异常,可能与原岩熔融过程 中斜长石组分残留于固相有关。由此,测区花岗岩 具轻重稀土元素分馏程度明显,轻稀土元素富集, Eu、Ce 呈负异常,反映具有下地壳源岩部分熔融花 岗岩的特征。

3.3 微量元素特征

将表4中微量元素含量与洋脊花岗岩(ORG) 相比,均具有亲石元素Li、Ba、Nb、Be,亲铜元素Cu 和铁族元素Hf、Zr相对贫化,而Rb、Sr、Zn、Ag、Sn、 Pb、Bi、Mo、Ba、Th相对富集,Cr、Co、Ni、V、Ta含量 正常的特点。微量元素总体表现为K、Rb、Th、Ba 等强不相容元素强烈富集,Ta、Nb、Ce、Zr、Hf、Sm等 元素一般富集,Ti、Y、Yb、Cr等弱不相容元素亏损, 其特征同标准的火山弧钙碱性花岗岩一致^[25]。

表 4	拉地奇玛地区龙岗岩微量元素分析结果	
夜日	12.1.1.2.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.	

Tab. 4	Bulk - rock	trace	elements	data	for	granites	in	Ladigongma	area
	2000					5			

样品号	Li	Be	Sc	Ga	Th	Sr	Ва	a V	С	r Co)	Ni	Cu	Pb	Zn	W	Mo	Ag	А	s	Sn
DY57	7.0	1.20	38.9	18.4	6.30	366.	0 47	7 230	0 60	8 21.	7	7.0	13.3	2.9	51.9	0.90	0.59	0.03	3 5.5	50	1.00
DV663 – 1	30.7	1.93	19.6	15.9	8.30	144.	0 38	4 56	6 57	3 11.	8 1	2.7	5.8	12.5	53.7	0.52	0.20	0.03	1 1.3	35	1.20
3P2DY5 – 2	15.0	1.70	41.0	20.0	2.00	148.	0 39	9 169	0 384	0 25.	0 4	7.0	459.0	8.1	117.0	0.52	< 0.20	0.37	5 4.9	90	3.60
DY664 – 1	6.7	0.67	58.6	14.9	2.90	182.	0 12	4 148	0 96	2 26.	8 4	4.6	6.2	2.0	54.4	0.26	0.08	0.03	3 0.0	51	0.87
3DY48 – 1	15.2	1.26	30.6	15.9	0.95	172.	0 19	6 163	0 194	0 23.	3 6	7.7	36.1	11.0	69.3	0.26	0.37	0.034	4 2.0	04	1.50
DY1858 – 1	6.7	0.93	8.6	12.9	13.20	78.	7 25	3 25	0 11	2 4.	8	1.5	4.4	10.6	21.6	1.28	0.28	0.04	4 1.2	22	0.90
DY344 – l	13.2	1.18	20.4	15.4	3.50	162.	0 36	0 79	4 19	2 10.	2	5.7	5.5	7.0	50.7	< 0.20	0.17	0.03	7 1.	18	1.20
3P2DY4 – 1	10.0	1.80	15.0	14.0	11.00	195.	0 31	8 81	0 16	0 13.	0	7.9	9.0	9.4	42.0	0.66	0.28	0.03	9 1.2	20	1.70
3DY675 – 2	17.5	1.50	16.1	17.9	14.00	211.	0 32	2 77	0 16	1 13.	0	3.86	24.1	18.5	63.2	0.51	0.10	0.052	2 0.5	52	1.30
DY693 – 2	33.2	1.97	16.2	17.2	7.90	211.	0 33	7 81	0 73	7 14.	4 2	4.4	10.4	14.2	56.6	0.52	0.15	0.032	2 1.4	40	1.80
DYl3 – 1	15.0	1.20	32.0	14.0	3.40	181.	0 33	1 182	0 83	0 27.	0 2	2.0	11.0	7.3	76.0	0.45	< 0.20	0.02	7 0.3	32	1.50
DYl523 – 1	12.0	1.20	37.0	14.0	1.90	172.	0 20	2 192	0 207	0 29.	0 9	2.0	20.0	1.8	68.0	0.52	< 0.20	0.03	3 1.2	20	0.80
样品号	Hg	Bi	J	F :	В	Rb	U	Hf	Те	Zr	Au	1	C1	Та	Ce	Yb	Ti	\mathbf{Sb}	Nb	Sm	Nd
DY57	< 0.00	5 < 0.0)50 60	53 18	3.2 4	7.2	0.55	3.2	< 0.05	115.0	0.4	9 2	285.000	0.41	27.4	5.0	4 567	0.55	10.1	4.7	18.9
DV663 – 1	< 0.00	5 <0.0	050 35	50 9	0.1 8	35.2	0.90	3.7	< 0.05	117.0	0.4	8	84.000	0.77	39.6	3.0	2 700	0.12	12.6	4.1	20.1
3P2DY5 – 2	0.014	4 1.7	780 4	40 11	.0 10	05.0	0.79	4.1	0.10	130.0	2.9	0	0.010	0.80	26.4	7.3	3 200	0.24	7.9	3.6	14.8
DY664 – 1	< 0.00	5 <0.0	050 33	37 1	.5	9.8 <	0.10	1.9	< 0.05	54.1	0.4	5 2	221.000	0.30	14.3	3.9	2 584	0.07	5.7	3.7	13.1
3DY48 – 1	< 0.00	5 < 0.0	050 37	79 14	4.1 4	4.8	0.28	4.3	< 0.05	120.0	0.8	7	117.000	0.56	34.3	3.0	4 245	0.17	12.3	4.0	19.2
DY1858 - 1	0.00	5 0.0	050 10	52 4	1.3 5	53.4	1.27	4.4	< 0.05	132.0	0.4	6	50.000	0.75	40.5	2.4	1 200	0.32	12.8	3.6	20.2
DY344 – l	< 0.00	5 <0.0	050 37	74 4	1.7 3	38.3	0.15	3.4	< 0.05	100.0	0.4	9	132.000	0.22	34.3	3.7	2 763	0.08	8.0	3.4	13.3
3P2DY4 – 1	0.01	5 0.0	080 29	93 4	4.3 4	0.0	1.10	5.2	0.08	171.0	0.7	0	0.009	< 0.50	43.5	2.4	2 676	0.19	7.3	4.1	17.6
3DY675 – 2	< 0.00	5 0.2	260 37	75 8	8.4 6	51.3	0.66	3.7	< 0.05	107.0	0.4	6	85.000	0.69	53.1	3.1	2 875	0.11	12.4	4.0	22.3
DY693 – 2	< 0.00	5 0.1	131 3	76 11	.9 9	98.3	1.14	3.7	< 0.05	113.0	0.6	4	78.000	0.96	40.6	2.3	2 895	0.16	13.1	3.3	17.3
DYl3 – 1	0.00	5 0.0)50 32	23 8	3.9 5	59.0 <	0.50	2.4	0.08	78.0	0.5	0	0.028	< 0.50	46.9	1.7	3 012	0.14	3.3	3.5	14.8

注:样品由武汉综合岩矿测试中心测试。

在 ORG 标准化的微量元素蛛网图(图 5)上, 高场强元素(HFSE)和大离子亲石元素(LILE)有 较明显的分异,样品具有 K、Rb、Ba、Th 等元素富 集,Nb、Ce、Zr、Hf、Sm、Y、Yb等元素亏损的特征。 大离子亲石元素 Ba和Sr属不相容元素,Rb属高度 不相容元素,其比值 Rb/Ba及 Rb/Sr 对岩浆作用敏



Fig. 5 Primitive-mantle normalized trace elements for granites in Ladigongma area

感,强烈的结晶分异作用可使 Rb/Ba 及 Rb/Sr 增高^[26]。而低比值 Rb/Sr、Rb/Ba (<2)是含水条件下部分熔融的初始阶段特征^[27]。测区花岗岩 Rb/Sr 为 0.13~0.71,平均为 0.34; Rb/Ba 为 0.08~0.29,平均为 0.18。华仁民^[28]认为各类岩浆岩中的 Nb 含量都高于 Ta 含量,但在岩浆结晶作用晚期,Ta 趋向富集,尤其是在花岗岩中,从早期相到晚期相,Ta 逐渐富集,Nb/Ta 逐渐减小。测区花岗岩 Nb 含量相对较高,介于 2.2~13.1 之间,平均为 8.98; Ta 含量为 0.22~0.96,平均为 0.58; Nb/Ta 为 4.4~36.36,平均为 16.87。由上显示,测区花岗岩具下地壳源岩部分熔融花岗岩的特性。

4 构造环境判别

金沙江古特提斯洋位于义敦地块和羌塘—昌 都地块之间,晚石炭世至早二叠世为扩张期,早、中 二叠世金沙江洋壳开始向西俯冲,中、晚二叠世洋 盆已开始缩小,洋壳开始向西俯冲,早、中三叠世时, 义敦地块和羌塘—昌都地块碰撞,并在中、晚三叠世 碰撞拼合形成金沙江缝合带及代表板块缝合线的蛇 绿混杂岩带^[6]。拉地贡玛地区花岗岩处于金沙江缝 合带西段,属金沙江缝合带的物质组成部分。

区域火成岩成因及其形成构造环境是再造金 沙江缝合带演化历史的重要途径^[8];测区晚三叠 世花岗岩侵入体中含有较多的暗色闪长质包体,岩 石组合属于明显的成分演化期次,各侵入体多属于 钙碱性系列讨铝质—偏铝质的花岗岩。在 ACF 图 解上,投影于S型花岗岩靠近I型分界线的区域, 而 A/CNK 均大于 1.1,属于过铝质花岗岩。稀土总 量(ΣREE)平均为 96.43 × 10⁻⁶, LREE/HREE 为 2.81~8.85,(La/Sm)x平均为3.02,显示轻重稀土 分馏程度较明显, 日具有轻稀土富集性特征, Eu、Ce 呈弱负异常, Rb/Sr 均小于1, 多为0.4~0.5, 属同 熔型花岗岩。这些均反映该期次侵入体兼具I型 和S型花岗岩的特点,是下地壳源岩部分熔融或地 幔岩浆分异而成,但在岩浆上侵过程中受上地壳熔 融物质的混染,又具有过铝质花岗岩的特点,显示 岩浆物源具有多源性特征。

据岩石中暗色矿物以黑云母、角闪石为主,以 及岩石具偏铝质岩石一过铝质岩石过渡的特点,将 测区花岗岩基本确定为 Miniar^[29]提出的花岗岩分 类中的大陆弧花岗岩类(CAG)。构造环境判别图 解选用在地质作用过程中相对稳定的微量元素,因 高场强元素 Nb、Ta、Nd、Hf、Zr、Tb、Y、Yb等在海水 蚀变及变质过程中是稳定或比较稳定的不活动性 元素,在后期变质过程中相对保持稳定,可代表原 岩的成分^[23]。如图 6 所示,在花岗岩构造环境判 别 Rb – Yb + Nb 图解(图 6 – 1(a))和 Rb – Y + Nb 图解(图 6 – 1(b))^[30]中,测区花岗岩样点均投影





Fig. 6 – 1 Discrimination diagram for tectonic settings of granites in Ladigongma area

Syn-COLG. 同碰撞花岗岩; VAG. 岛弧花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩类



图 6-2 拉地贡玛地区花岗岩构造判别图解

Fig. 6 – 2 Discrimination diagram for tectonic settings of granites in Ladigongma area Syn – COLG. 同碰撞花岗岩; VAG. 岛弧花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩类

于火山弧花岗岩(VAG)中;在花岗岩 Nb - Y 图 解^[30](图6-2(c))中,样点落在火山弧花岗岩及 同碰撞花岗岩区内,显示具有岛弧与大陆块体碰撞 作用的特征;在花岗岩 Rb/30 - Hf - 3Ta 图解^[31] (图6-2(d))中,样点多数投于火山弧花岗岩区 内,且靠近板内花岗岩区内,少数投于板内花岗岩 区内,暗示具有陆缘火山弧花岗岩的特征。

综上所述,金沙江古特提斯洋在中、晚三叠世 末期碰撞拼合形成金沙江缝合带^[6],隶属于金沙江 缝合带西段的拉地贡玛地区花岗岩兼具 I 型和 S 型花岗岩的特点,由下地壳源岩部分熔融或地幔岩 浆分异而成;其构造环境与该地区晚三叠世多 彩一当江构造混杂带的俯冲作用密切相关,是与俯 冲汇聚构造环境有关的大陆碰撞弧型花岗岩。

5 结论

(1)据出露岩石类型,拉地页玛地区花岗岩可 划分为3个单元,即拉地页玛花岗闪长岩(T₃γδ)、 缅切英云闪长岩(T₃δi)、日阿日曲石英闪长岩 (T₃δo),各侵入体呈被动岩墙扩张作用和岩浆多次 脉动作用为主被动就位机制,岩浆侵位时代为晚三 叠世。

(2)研究区酸性侵入岩体是以高硅富铝、多碱 质和挥发组分为特征的兼具 I 型和 S 型花岗岩,属 过铝质花岗岩,暗示可能形成于大陆碰撞环境;轻 重稀土分馏程度明显,轻稀土富集,Eu、Ce 呈弱负 异常,具地幔岩浆分异或下地壳源岩部分熔融花岗 岩的特征。高场强元素(HFSE) K、Rb、Ba、Th 等元 素富集,大离子亲石元素(LILE) Nb、Ce、Zr、Hf、 Sm、Y、Yb 等明显亏损; Rb/Sr 为 0.13 ~ 0.71, Rb/Ba为0.08 ~ 0.29, Nb/Ta 为 4.4 ~ 36.36,显示 具下地壳源岩部分熔融花岗岩的特性。

(3) 拉地贡玛地区花岗岩处于金沙江缝合带 内,区域上属西金乌兰一金沙江缝合带的物质组成 部分,在研究区隶属通天河蛇绿混杂岩带; 拉地贡 玛地区花岗岩兼具 I 型和 S 型花岗岩的特点,是下 地壳源岩部分熔融或地幔岩浆分异而成。其构造 环境与该地区晚三叠世多彩一当江构造混杂带的 俯冲作用密切相关,是与俯冲汇聚构造环境有关的 大陆碰撞弧型花岗岩。

致谢:参加野外工作及室内研究的还有王毅 智、刘生军、祁生胜、王永文、丁玉进、安守文等,在 此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 黄汲清,陈炳蔚.中国及邻区特提斯海的演化[M].北京:地 质出版社,1987:1-105.
- [2] 刘训.青藏高原不同地体的地层、生物区系及沉积构造演化 史[M].北京:地质出版社,1992:2-50.
- [3] 刘增乾,徐宪,潘桂棠. 青藏高原大地构造与形成演化[M].
 北京:地质出版社,1990:1-174.
- [4] 王鸿祯,杨森楠,刘本培,等.中国及邻区构造古地理和生物 古地理[M].武汉:中国地质大学出版社,1990:3-50.
- [5] 孙晓猛,简平. 滇川西部金沙江古特提斯洋的威尔逊旋回[J]. 地质论评,2004,50(4):343-350.
- [6] 莫宣学,沈上越,朱勤文,等.三江中南段火山岩-蛇绿岩与 成矿[M].北京:地质出版社,1998;86-167.
- [7] 孙晓猛,张保民,聂泽同,等. 滇西北金沙江带蛇绿岩、蛇绿混

杂岩形成环境及时代[J]. 地质论评,1997,43(2):113-120.

- [8] 董云鹏,朱炳泉,常向阳,等.哀牢山缝合带中两类火山岩地球 化学特征及其构造意义[J].地球化学,2000,29(1):6-13.
- [9] 王培生.云南德钦蛇绿岩中基性熔岩的岩石化学特征初步研究[G]//青藏高原地质文集编委会.青藏高原地质文集(9). 北京:地质出版社,1985:147-209.
- [10] 王永文,王玉德,李善平,等.西金乌兰构造混杂岩带特征 [J].西北地质,2004,37(3):15-20.
- [11] 陈健,李建放,安勇胜,等.风火山地区西金乌兰湖-金沙江 蛇绿构造混杂带的物质组成及发展演化特征[J].西北地质, 2007,40(3):36-43.
- [12] 李善平,潘彤,李永祥,等. 青藏高原北羌塘盆地多彩地区蛇 绿岩地球化学特征及构造环境[J]. 中国地质,2010,37(6): 1592-1606.
- [13] 翟庆国,李才,程立人,等.西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩的地质特征及意义[J].地质通报,2004,23(12):1228-1230.
- [14] 任纪舜,肖黎薇.1:25万地质填图进一步揭开了青藏高原大 地构造的神秘面纱[J].地质通报,2004,23(1):1-11.
- [15] 王传尚. 滇西德钦地区放射虫化石新发现[J]. 华南地质与 矿产,1999,12(2):31-35.
- [16] 莫宣学,邓晋福,董方浏,等.西南三江造山带火山岩-构造 组合及其意义[J].高校地质学报,2001,7(2):121-138.
- [17] 青海省地质调查院.杂多、治多幅1:25 万区域地质调查报告 及图件[R].2005.
- [18] 李勇,王成善,伊海生.西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰 撞作用与沉积响应[J].沉积学报,2003,21(2):191-197.
- [19] 青海省第二区域地质调查队.1:20万治多县幅区域地质矿 产调查报告[R].1984.
- [20] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J].

Lithos, 1998, 45(1/4): 29-44.

- [21] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58(1):63-81.
- [22] Nakada S, Takahashi M. Regional variation in chemistry of the Miocene intermediate to felsic magmas in the outer zone and the Setouchi province of Southwest Japan [J]. The Journal of the Geological Society of Japan, 1979, 85(9): 571 - 582.
- [23] 赵枕华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京:科学出版社, 1997:113-138.
- [24] 毛景文,李红艳,裴荣富,等.千里山花岗岩体地质地球化学 及与成矿关系[J].矿床地质,1995,14(1):12-25.
- [25] 肖庆辉,邓晋福,马大铨,等.花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社,2002:21-38.
- [26] 邱瑞龙.九华山花岗岩岩浆分异特征及岩石成因[J].岩石 矿物学杂志,1998,17(4):308-315.
- [27] Harrison M T, Grove M, Mckeegan K D, et al. Origin and episodic emplacement of the Manaslu intrusive complex, central Himalaya[J]. Journal of Petrology, 1999, 40(1): 3 – 19.
- [28] 华仁民,张文兰,陈培荣,等.赣南大吉山与漂塘花岗岩及有关 成矿作用特征对比[J].高校地质学报,2003,9(4):609-619.
- [29] Miniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J].
 Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635 643.
- [30] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956 – 983.
- [31] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. Chemical Geology, 1985,48(1/4): 43-55.

Geochemistry and geological significance of Indosinian granites in the Ladigongma area of northern segment of the Sanjiang belt, Qinghai

LI Shanping¹, LI Yanjing², REN Hua¹, LIN Hao³, JIN Tingting¹, DOU Yongbin¹

(1. Qinghai Province Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources of Northern Qinghai-Tibetan Plateau,

Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, China; 2. Seismological Bureau of Qinghai Haidong,

Haidong 810600, China; 3. Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The Ladigongma granite is located in the Tongtian river tectono-magmatic belt of the Xijin Ulan - Jinsha river suture zone. According to the outcrop research, the rock types could be subdivided into 3 units: the Ladigongma granodiorite $(T_3\gamma\delta)$, the Riariqu quartz diorite $(T_3\delta o)$ and the Mianqie tonalite $(T_3\delta i)$. All of the granites are formed in the Late Triassic. The major elements results show that the granites are rich in silicon, aluminum, alkalis and volatile components; the rare earth elements results show intense fractionation between LREE and HREE with significant LREE enrichment and weak negative of Eu and Ce; and the trace elements are characterized by Rb, Th and Ba enrichment, and Y, Yb and Cr depletion. All of these are the characteristics of I- and S-type peraluminous granite. They have the same geochemical characteristics as the calc-alkaline granite in volcanic arc. It is inferred that the subduction of Duocai—Dangjiang tectonic melange zone in Late Triassic may be responsible for the granites in the study area. The granites are the continental collision type granite and the tectonic setting is subduction-convergent environment.

Key words: northern segment of the Sanjiang belt, Qinghai; Jinsha river suture zone; granite; geochemistry; tectonic environment