

青海三江北段治多地区印支期花岗岩 的成因及锆石 U-Pb 定年

王秉璋^{1,2} 罗照华¹ 曾小平² 王毅志² 祁生胜²

(1. 中国地质大学地球科学学院, 北京 100083; 2. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘要: 青海三江北段治多地区开展的 1:25 万区域地质调查显示该地区大面积出露的侵入岩的形成时代主要为晚三叠世, 治多县东北部巴颜喀拉岩区内花岗岩闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 法年龄为 (212.38 ± 7.1) Ma, 似斑状二长花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 (196.8 ± 0.3) Ma; 治多西南部分布于金沙江蛇绿构造混杂岩带内石英闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 (215.4 ± 0.8) Ma。通过岩体地质特征、岩石学及岩石地球化学特征结合区域构造演化特点可以初步确定这些地区晚印支—早燕山阶段花岗岩形成于后碰撞阶段, 岩浆具有多源区特点, 形成可能与岩石圈的拆沉作用有关。

关键词: 青海; 三江北段; 治多地区; 花岗岩; U-Pb 定年

中图分类号: P588.12; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)02-0196-11

新的青藏高原及其邻区构造分区方案中, 金沙江缝合带被称为可可西里(郭扎错—西金乌兰湖)—金沙江—哀牢山结合带^[1], 是青藏高原中部一条极为重要的构造分区界线。然而, 由于该区工作条件差, 地质研究程度相对较低, 特别是缝合带西北段, 对这条构造界线的性质及其演化至今仍然存在诸多的争议, 焦点是洋盆闭合时间^[2-7], 即金沙江缝合带是华力西期缝合带还是印支期缝合带, 以及沿缝合带产出的印支期火山—岩浆带的成因等。岩浆活动是岩石圈—软流圈系统物质、能量平衡的产物, 火成岩构造组合分析是再造古板块构造格局和历史的最有效的手段之一, 也是研究造山带火山作用与大地构造关系的基本方法^[8]。因此, 阐明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。金沙江缝合带北段火成岩以中酸性侵入岩为主, 次为火山岩(巴塘群)。已有的工作表明, 火山岩形成时代为晚三叠世无疑, 而其中侵入岩初步确认其形成时代也为晚三叠世, 部分可以延续到早侏罗世^[9-10] ①。但是, 对于火成岩的成因尚缺乏有效的

约束, 测年方法也相对单一, 在一定程度上制约了对金沙江缝合带构造演化的理解。为此, 笔者以治多地区 1:25 万区域地质调查为依托, 对青海省三江北段出露的中酸性侵入岩进行了系统研究, 力图阐明岩浆活动的时代和成因性质, 为再造区域地质演化提供岩石学约束。

1 地质背景

1.1 区域地质背景

调查区位于金沙江缝合带的西北段(图 1), 由 3 个构造单元组成, 西北部为松潘—甘孜陆块—巴颜喀拉边缘前陆盆地, 主要由中晚三叠世巴颜喀拉山群砂岩组组成; 中部为金沙江蛇绿混杂岩带, 组成十分复杂, 主体部分为泥砂质浊积岩, 次为蛇绿岩岩块(片)、中酸性火山岩岩块(片)及早中二叠世灰岩岩块等; 南部为羌塘—昌都陆块, 主要由晚三叠世结扎群、晚三叠世巴塘群组成。尽管对金沙江带是华力西期造山带和印支期造山带还有不同的认识, 但不论是那一种情况, 金沙江洋盆西北段(青海玉树以西)

收稿日期: 2007-09-20; 改回日期: 2008-01-04

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(200313000007)资助。

作者简介: 王秉璋, 男, 1969 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事区域地质调查研究; E-mail: wzb6901@126.com。

① 陈文. 东昆仑山—唐古拉山地区中生代中—酸性岩浆侵位及同位素年代学研究. 中—法合作项目结题报告, 1997.

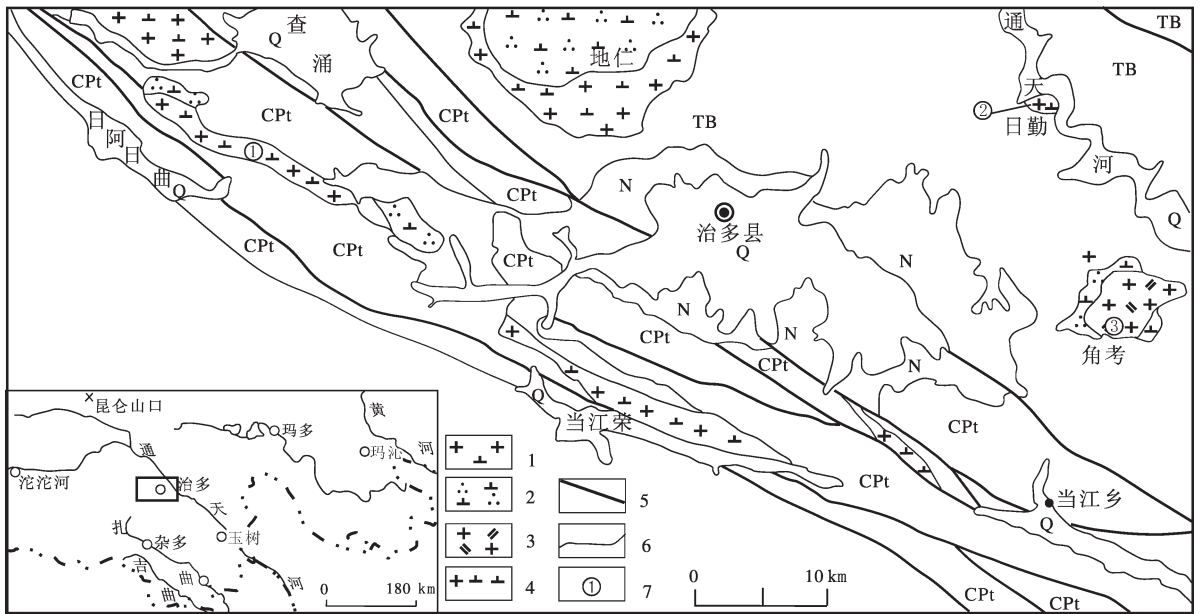


图 1 三江北段治多地区地质简图

1—花岗闪长岩;2—石英闪长岩;3—二长花岗岩;4—英云闪长岩;5—断层;6—地质界线;7—同位素采样地点及编号;
CPT—通天河蛇绿混杂岩;TB—巴颜喀拉山群;N—新近系;Q—第四系

Fig.1 Geological sketch map of the Zhiduo area of the northern segment of the Sanjiang belt

1—Granodiorite;2—Quartz diorite;3—Monzogranite;4—Tonalite;5—Fault;6—Geological boundary;

7—Site of isotope sample and its number;CPT—Tongtianhe ophiolitic mélange;TB—Bayan Har Shan Group;N—Neogene;Q—Quaternary

的洋盆演化历史在晚三叠世以前都应当已经结束,并进入到了碰撞或后碰撞造山阶段。重要的是金沙江洋盆闭合后沿缝合带及其周缘地区产出了大量的花岗岩,这些花岗岩是研究金沙江造山带碰撞或后碰撞阶段动力学过程的重要信息载体。

青海三江北段深成侵入岩主要分布于两个地区,金沙江岩带及巴颜喀拉岩区。金沙江岩带侵入岩均分布于金沙江缝合带内,其展布特征严格受深大断裂控制,岩体成群呈北西向带状展布;巴颜喀拉岩区岩体分布不具规律性,零散分布于巴颜喀拉盆地内。两岩区(带)的分界为金沙江蛇绿混杂岩带北界断裂。在通天河上游治多地区开展的 1:25 万区域地质调查工作区恰好跨越了上述两个岩区(带),侵入岩出露相对集中,具有较为理想的对比研究条件,是阐明金沙江带构造演化的理想地区之一。

1.2 岩体地质特征

1.2.1 巴颜喀拉岩区

巴颜喀拉岩区侵入岩主要呈两个复式岩基产出(图 1),一为角考岩体,另一个为地仁岩体。此外,在日勤一带有一小岩体呈岩株状产出。地仁复式岩体

呈椭圆状,出露面积约 120 km²,由近于呈同心圆状产出的两个侵入单元构成,内部单元岩性为石英闪长岩,外部为花岗闪长岩,内外两个单元之间呈明显的脉动式侵入接触关系。岩体侵入于中晚三叠世巴颜喀拉山群砂岩组中,与围岩的接触面一般较陡,多呈外倾,平面上接触界线多呈不规则状或锯齿状。在岩体的外接触带上,砂板岩经受了不同程度的角岩化、硅化,热接触变质带宽度达 300~400 m。岩体边部有较多的围岩(砂岩、板岩)的捕虏体,其规模一般为几平方米至数十平方米不等,最大者可达 0.5 km²以上。角考复式岩体平面形态为不规则的椭圆形,出露面积 25 km²。岩体由中细粒花岗闪长岩和斑状二长花岗岩两个侵入体组成,二者呈明显的脉动式侵入接触,其中中细粒石英闪长岩分布在复式岩体的东、西和北侧边部,呈较小的不规则状体;斑状二长花岗岩分布在复式岩体的中心核部,呈规模较大的浑圆状岩株。岩体侵入于巴颜喀拉山群,外接触带砂板岩具明显的角岩化,发育有红柱石角岩等。两个岩体的岩性都比较均匀,且均含有极少量闪长质包体。

斑状二长花岗岩:肉红色,块状构造,似斑状结

构,基质为中粒花岗结构,似斑晶 1~5 cm,成分主要为微斜长石;基质矿物成分主要为斜长石(30%~45%),半自形板状,An 为 27~36,发育聚片双晶和环带结构;钾长石(25%~35%),主要为微斜长石和条纹长石,半自形板状,格子双晶发育;石英(20%~25%),他形粒状,充填在其他矿物之中,见波状消光;暗色矿物主要为黑云母(5%~10%)。

花岗闪长岩:灰白色,块状构造,中细粒花岗结构,矿物成分主要为斜长石(40%~55%),为中长石(An=35~44),半自形板状;钾长石(10%~28%),主要成分为条纹长石,微斜长石,半自形板柱状,见格子双晶和条纹状构造;石英(20%~25%)他形粒状,充填于中长石之间;暗色矿物主要为黑云母(5%~10%)、角闪石(5%~10%)。

石英闪长岩:深灰色-灰绿色,块状构造,细粒半自形粒状结构,块状构造,矿物成分主要为斜长石(50%~68%),半自形板状,An 为 33~49,聚片双晶和环带结构发育;局部被钾长石交代具蠕英结构;钾长石(0~8%),为正长石,他形粒状,填隙状均匀分布,交代斜长石;石英(10%~15%)他形粒状,充填于斜长石之间;黑云母(12%~20%),部分交代角闪石;角闪石(10%~18%),半自形柱状,呈集合体出现,核部偶见辉石残晶。

1.2.2 金沙江岩带

主要分布在调查区当江-日啊日曲一带,分布于金沙江蛇绿混杂岩带内,由石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩组成。与巴颜喀拉岩区不同,该带侵入岩均呈北西向延伸的长条带状、长椭圆状出露,部分岩体两侧被断层围限,呈岩片(块)状体产出。缅甸一带的英云闪长岩及拉地贡玛一带的花岗闪长岩侵入到金沙江蛇绿混杂岩内。虽然岩体边部片麻理产状与围岩片(麻)理产状协调一致,但侵入接触关系仍十分清楚,界面锯齿状、波状弯曲不平,一般外倾,倾角 50~70°,围岩具明显的角岩化、硅化蚀变。岩体中普遍含有暗色闪长质包体,一般为 3 cm×6 cm~5 cm×20 cm,分布不均匀,呈长条状定向排列,并与岩体的面理产状一致,在日啊日曲片麻状花岗闪长岩中尤为发育。另外,具有较为强烈的蚀变、混染现象亦是该期次侵入体的一大特色,尤其是在日啊日曲等地,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。这些特征明显不同于巴颜喀拉岩区内同时期侵入岩。

石英闪长岩:浅灰-灰绿色,中细粒半自形粒状结构,片麻状构造。主要矿物为斜长石(45%~57%),半自形板状,环带结构发育,为中-更长石,可见双晶弯曲、波状消光现象;石英(5%~10%)他形不规则状粒状,局部定向性排列;黑云母(5%~16%)绿帘石化;普通角闪石(15%~25%)半自形-自形长柱状晶,绿帘石化,偶含更长石包裹体;绿帘石(2%~10%)有时呈细脉状穿插于岩石中;钾长石含量不均匀,最多可达 5%,有交代斜长石的现象;副矿物含量 3%,以磷灰石、磁铁矿为主。

英云闪长岩:灰白色-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%)、黑云母(5%~15%)组成。暗色矿物和条带状石英多定向分布,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,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;石英具带状、波状消光;黑云母多绿帘石化。副矿物有磷灰石、锆石、榍石和磁铁矿。

花岗闪长岩:灰白色,中细粒花岗结构、块状、弱片麻状构造。矿物成分为石英(20%~25%),呈细粒他形粒状;斜长石(35%~50%)以更长石为主,多呈半自形板状,个别呈他形粒状,具有强烈的粘土化和绿帘石化,聚片双晶常见,双晶发生弯曲、膝折现象;钾长石(15%~20%)呈他形晶,高岭土化,格子状双晶极不发育,为微斜长石,定向分布,部分地区矿物晶体长轴排列方向与黑云母片理排列方向一致;角闪石(5%~15%)自形半自形晶;黑云母(2%~8%)呈棕色,部分被绿泥石交代,定向排列,白云母(1%~2%)。副矿物以磁铁矿、锆石、磷灰石为主。

2 岩体形成时代确定

除早期的 K-Ar 法测年外,陈文^[9-10]等近年来在青海巴颜喀拉地区及金沙江缝合带少数岩体做了一些的同位素测年工作,所采用的方法为黑云母(个别为角闪石)单矿物 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 法,个别为单颗粒锆石质谱计双带源直接蒸发-沉积法 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 同位素

①陈文,东昆仑山-唐古拉山地区中生代中-酸性岩浆侵位及同位素年代学研究,中-法合作项目结题报告,1997.

测年,初步确定巴颜喀拉地区的花岗岩形成时限为(220~212)Ma,金沙江缝合带内花岗岩形成时限为(227~217)Ma,这些工作初步确定两区(带)花岗岩体主要形成于晚三叠世。胡健民等^[11]在相邻的松潘—甘孜地体内花岗岩采用锆石 SHRIMP U-Pb 定年,确定其形成时代主要为晚三叠世,部分为早侏罗世。可以看出以往同位素测年工作以⁴⁰Ar/³⁹Ar法为主,⁴⁰Ar/³⁹Ar法是比较容易受后期构造热事件的影响,因此青海三江北段花岗岩的时代仍需进一步高精度的测年工作进行约束。本次工作对分布于巴颜喀拉岩区和金沙江岩带内的花岗岩都采用单颗粒锆石 U-Pb 法进行了同位素测年,结合野外地质产状特征及前人的资料,对本地区深成侵入岩形成时代进行探讨。

测年工作采集远离脉体和裂隙的新鲜花岗岩的样品,原样重 15 kg,对样品首先进行人工粉碎,然后是手淘洗和电磁选,选取无磁或弱磁性的锆石单颗粒。在双目镜下,尽量挑选透明无包体无裂隙的锆石

晶体做为测定对象。对选取的锆石首先进行形态学和矿物学鉴别,所选锆石在 0.25 mL 容积的氟塑料容器内溶解,溶解及分离程序在 T.Krogh(1973)的基础上做一定的改进,使用²⁰⁸Pb-²³⁵U 混合稀释剂,将溶解所得样品溶液与稀释剂、磷酸、硅胶混合加在单铯带灯丝上,在 VG354 型质谱仪上用高灵敏度 Daly 检测器进行同位素测试,所有 U-Pb 同位素数据均对质量歧视效应进行校正,实验室全流程铅空。锆石 U-Pb 法同位素测年工作由中国地质调查局天津地质矿产研究所完成,测试精度李惠民等^[12]已作了报道。

2.1 巴颜喀拉岩带同位素测年结果

日勤岩体花岗闪长岩(表 1、图 2)中 3 颗锆石(2-1、2-2、2-3)全为棕黄色透明短柱状,表面年龄非常一致,²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄统计权重平均值为(196.8±0.3)Ma。

角考岩基内斑状二长花岗岩(表 1、图 3),岩体锆石群较复杂,其中两颗锆石(3-1、3-2)²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄统计权重平均值为(212.3±2.1)Ma,另外两

表 1 U-Pb 同位素测年结果
Table 1 U-Pb isotope data

点号	样品情况 锆石类型及特征	质量 kg	质量分数		普通铅量 ng	* 同位素原子比率					表面年龄 Ma		
			U (kg/g)	Pb (kg/g)		²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²²⁰ 6Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
3-1	浅棕黄色透明 中长柱状	60	911	32	0.12	641	0.05974	0.03339 <9>	0.2345 <44>	0.05093 <90>	211.7	213.9	237.8
3-2	浅黄色透明 短柱状	50	851	30	0.083	683	0.06847	0.03358 <11>	0.2307 <92>	0.04981 <187>	212.9	210.7	186.3
3-3	浅棕黄色透明 短柱状	40	1385	51	0.098	669	0.05046	0.03552 <11>	0.2502 <66>	0.05108 <128>	225	226.7	244.3
3-4	浅棕黄色透明 中长柱状	40	1685	61	0.11	948	0.06126	0.03556 <11>	0.2429 <55>	0.04954 <106>	225.3	220.8	173.4
2-1	浅棕黄色透明 中长柱状	40	886	32	0.11	428	0.1058	0.03097 <8>	0.2142 <8>	0.05017 <151>	196.6	197.1	202.8
2-2	浅黄色透明 短柱状	40	1023	35	0.076	680	0.105	0.03101 <8>	0.2144 <71>	0.05015 <156>	196.9	197.3	201.8
2-3	浅棕黄色透明 短柱状	40	721	27	0.11	323	0.09672	0.03103 <32>	0.2095 <2>	0.04897 <201>	197	193.1	146.2
1-1	浅黄色透明 短柱状	40	623	24	0.048	637	0.1728	0.0338 <23>	0.2325 <174>	0.04989 <353>	214.2	212.3	189.8
1-2	浅黄色透明 短柱状	40	1055	41	0.077	771	0.175	0.03397 <6>	0.2321 <62>	0.04954 <127>	215.4	211.9	173.6
1-3	浅黄色透明 短柱状	40	823	33	0.089	500	0.1763	0.03401 <24>	0.2335 <76>	0.0498 <151>	215.6	213.1	185.9
1-4	浅黄色透明 中长柱状	30	1537	62	0.11	628	0.1966	0.03405 <6>	0.2357 <51>	0.05019 <102>	215.9	214.9	203.8
1-5	浅黄色透明 中长柱状	50	483	21	0.084	392	0.1878	0.03484 <11>	0.2443 <120>	0.05086 <235>	220.7	221.9	234.3

注:²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 已对实验空白(Pb=0.050ng,U=0.002ng)及稀释剂作了校正;其他比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素,括号内的数字为(2σ)绝对误差。

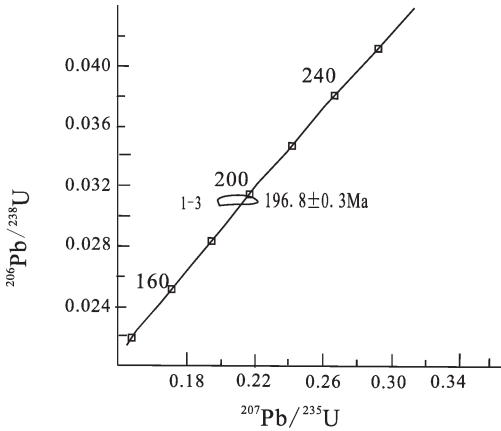


图2 日勤花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig.2 Zircon U-Pb concordia diagram of the Riqin granodiorite

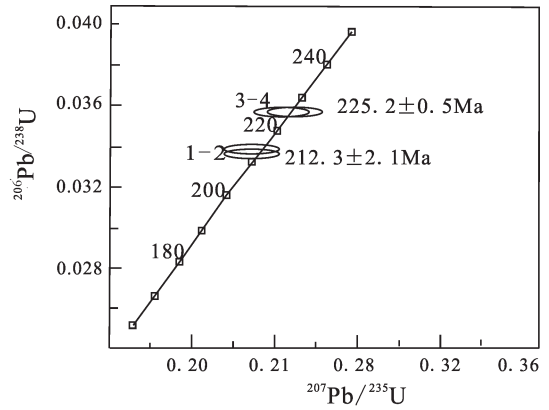


图3 角考花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig.3 Zircon U-Pb Concordia diagram of the Jiaokao granodiorite

锆石(3-3、3-4), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 $(225.2 \pm 0.5)\text{Ma}$ 。

2.2 金沙江岩带同位素测年结果

日啊日曲片麻状石英闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 法同位素年龄测定成果见表 1、图 4, 其中四颗锆石均为浅黄色半透明短柱状, 这种锆石多半是岩浆锆石, 测定结果显示, 四颗锆石(1-1、1-2、1-3、1-4)统计权重 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄为 $(215.5 \pm 0.8)\text{Ma}$, 而第五颗锆石(1-5)为浅黄色透明中长柱状, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 $(220.7 \pm 0.7)\text{Ma}$ 。

花岗闪长岩与日阿日曲石英闪长岩锆石群存在两个明显且又非常接近的峰值, 第一组锆石峰值为 $220.7 \sim (225.2 \pm 0.5)\text{Ma}$ (相当于卡尼期), 第二组锆石峰值为 $(212.3 \pm 2.1) \sim (215.5 \pm 0.8)\text{Ma}$ (诺利期), 这一年龄与陈文等^[10]在金沙江岩带东部离本研究区不远的哈秀石英闪长岩体中取得的角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果 (216.4Ma) 十分接近。这些特征说明第二组锆石的年龄为岩体的形成年龄, 第一组年龄可能是来自于一个刚刚形成的源区的继承锆石年龄。

3 岩石地球化学

3.1 巴颜喀拉岩带

根据岩石地球化学分析(表 2), 进行侵入岩化学分类, 如删去黑云母对碱的作用, 岩石化学分类与显微镜下岩石学定名大体一致。两件石英闪长岩样品测试结果显示, 岩石具有富 MgO ($6.17\% \sim 7.64\%$)、 CaO ($7.76\% \sim 8.51\%$) 的特征, SiO_2 含量为 $57.01\% \sim 58.54\%$, 为中性岩; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 $0.6 \sim 0.73$, σ 为 $0.56 \sim 0.74$, 山德指数 A/CNK 为 $0.7 \sim 0.78$ 。样品集中分布于中钾区(图 5)。因此, 巴颜喀拉岩区内石英闪长岩属于中钾偏铝质钙碱性岩。花岗闪长岩 6 件样品统计显示, SiO_2 主要集中于 $61.14\% \sim 66.7\%$, 为中酸性岩, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均值为 1.4 , σ 为 $0.71 \sim 2.67$, 山德指数 A/CNK 集中于 $0.87 \sim 0.97$, 在图 6 中样品主要分布于高钾区, 可确定花岗闪长岩为高钾偏铝质钙碱性岩。两件二长花岗岩特征显示, SiO_2 含量为 $68.74\% \sim 72.61\%$, 为酸性岩无疑, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 $1.5 \sim 1.83$, σ 为 $1.4 \sim 1.52$, 山德指数 A/CNK

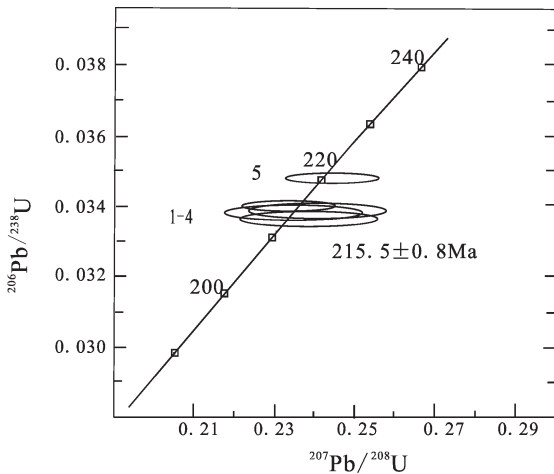


图4 日阿日曲石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig.4 Zircon U-Pb concordia diagram for the Riariqu quartz diorite

2.3 地质意义

综合两个岩带 U-Pb 测年资料, 可以看出角考

表 2 巴颜喀拉岩带花岗岩成分特征

Table 2 Chemical composition of granitoids in the in the Bayan Har area

成分	地仁石英闪长岩		日勒花岗岩闪长岩						角考二长花岗岩	
	GS43	GS703-	GS43-1	GS1842	GS1843	GS1266	GS1266	Gs1526	GS704	GS70
SiO ₂ ×10 ³	57.01	58.54	61.14	64.27	64.41	66.7	66.58	73.72	68.74	72.61
TiO ₂	0.51	0.58	0.63	0.67	0.67	0.63	0.65	0.25	0.54	0.3
Al ₂ O ₃	13.65	14.74	14.58	14.24	14.88	14.45	14.32	13.96	14.01	14.08
Fe ₂ O ₃	0.98	0.74	0.84	0.6	0.66	0.67	0.51	0.64	0.49	0.4
FeO	5.7	5.7	3.38	4.25	4.28	3.78	3.85	1.63	2.85	1.82
MnO	0.13	0.13	0.08	0.1	0.11	0.1	0.11	0.07	0.07	0.05
MgO	7.64	6.17	2.3	3.38	3.14	2.38	2.81	0.62	2.08	0.48
CaO	8.51	7.76	4.76	6.09	5.38	4.45	4.61	2.26	3.8	2.64
Na ₂ O	1.76	1.97	1.84	1.96	2.18	2.09	2.1	2.7	2.12	2.68
K ₂ O	1.05	1.43	3.68	1.92	2.75	3.18	2.72	3.39	3.88	4.02
P ₂ O ₅	0.07	0.08	0.2	0.1	0.1	0.12	0.12	0.06	0.1	0.06
H ₂ O+	2.27	1.84	2.93	1.49	1.2	1.21	1.11	0.57	0.95	0.55
LOS	0.55	0.13	3.43	0.76	0.06	0.06	0.33	0.22	0.2	0.16
Total	99.83	99.81	99.79	99.83	99.82	99.82	99.82	100.09	99.83	99.85
A/CNK	0.70	0.78	0.93	0.87	0.91	0.97	0.97	1.14	0.96	1.04
La×10 ⁻⁴	9.85	8.68	39.63	22.43	31.15	27.69	28.87	28.15	33.45	28.18
Ce	20	16.83	69.79	42.43	59.38	54.89	57.99	51.07	63.06	54.36
Pr	2.52	2.13	7.67	5.06	6.83	6.64	6.85	6.47	7.13	6.13
Nd	9.62	8.02	26.4	19.9	23.41	24.42	24.73	21.85	25.05	22.76
Sm	2.25	1.94	4.92	3.86	4.57	5.17	4.96	4.77	4.73	4.5
Eu	0.64	0.58	1.12	0.87	0.95	0.96	0.97	0.76	0.79	0.82
Gd	2.41	2.04	4.35	3.51	3.9	4.81	4.37	4.45	3.85	3.53
Tb	0.43	0.38	0.71	0.58	0.64	0.81	0.7	0.76	0.62	0.55
Dy	2.6	2.24	4.05	3.43	3.58	4.55	4.14	4.36	3.44	2.75
Ho	0.55	0.47	0.84	0.64	0.7	0.89	0.82	0.92	0.68	0.51
Er	1.58	1.36	2.28	1.76	1.98	2.4	2.29	2.55	1.8	1.34
Tm	0.25	0.22	0.37	0.26	0.29	0.39	0.36	0.42	0.28	0.19
Yb	1.64	1.42	2.34	1.58	1.78	2.46	2.21	2.53	1.69	1.19
Lu	0.25	0.22	0.36	0.23	0.26	0.36	0.35	0.39	0.23	0.16
Y	13.1	11.64	20.54	17.48	17.52	24.06	20.85	21.78	16.95	12.08
∑REE	54.59	46.53	164.83	106.54	139.42	136.44	139.61	129.45	146.80	126.9
δ Eu	0.84	0.89	0.73	0.71	0.67	0.58	0.62	0.50	0.55	0.61
(La/Yb) _n	4.05	4.12	11.42	9.57	11.80	7.59	8.81	7.50	13.34	15.97
Cr ×10 ⁶	477	304		129	114	59.9	97.4	5.6	68.8	8.2
Co	33.1	30.5		19	17.7	13.4	15.9	5.6	11.1	3.4
Ni	145	91.8		30	30.6	17.8	34.6	6.9	15.4	0.93
Rb	51	72.3		77.7	122	131	111	195	150	177
Sr	130	143		149	186	177	157	122	121	145
Ba	150	226		299	395	461	410	289	390	306
Zr	86.5	104		173	126	153	182	180	195	124
Hf	3	3		4.6	4.3	4.3	5.7	6.7	5.4	4.7
Nb	7.3	10.1		10.3	15.5	14.8	13	17	12.6	17.7
Ta	0.3	0.53		0.48	1.08	0.98	0.71	1.5	0.88	1.82
Th	3.7	6.6		7.1	9.2	14.4	10.6	18	17.6	14.2

注:由国土资源部武汉综合岩矿测试中心分析,主元素为湿法分析,其他为 X 荧光光谱分析,2005。

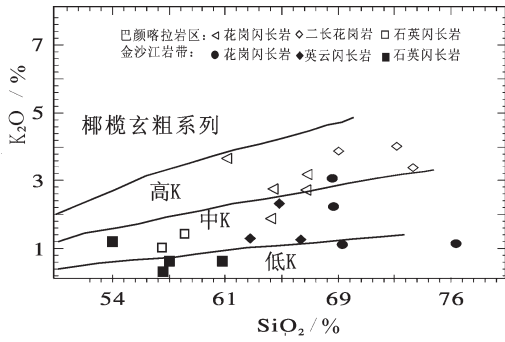


图5 SiO₂-K₂O图解
Fig.5 SiO₂-K₂O diagram

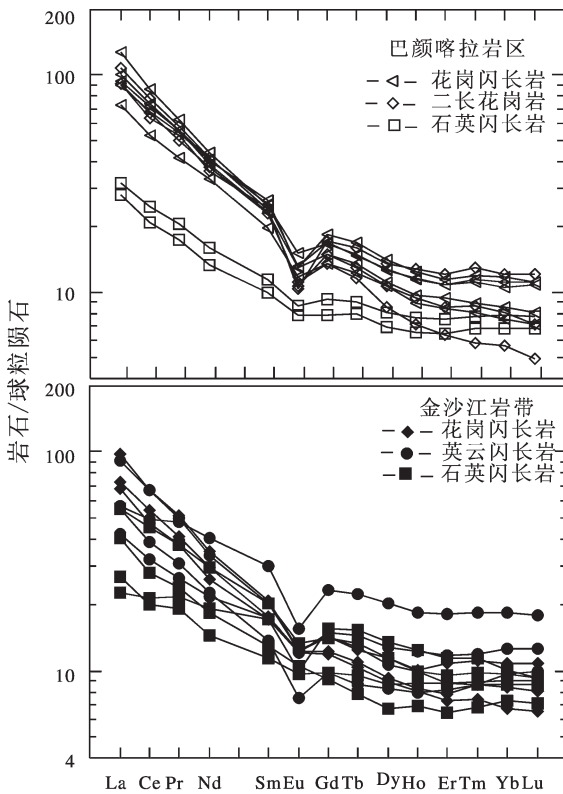


图6 花岗岩稀土元素分布型式图

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns for granitoids in the study area

为0.96~1.04,图5中样品集中分布于高钾区,因此可判断二长花岗岩为高钾偏铝质-过铝质钙碱性岩。可以看出工作区巴颜喀拉岩区花岗岩类以高钾钙碱性岩为主体。

稀土元素丰度变化具有规律性特征,其中石英闪长岩稀土总量较低,ΣREE为54.59×10⁻⁶~46.53×10⁻⁶,δEu为0.84~0.89,具轻度负异常,(La/Yb)_n为4.05~

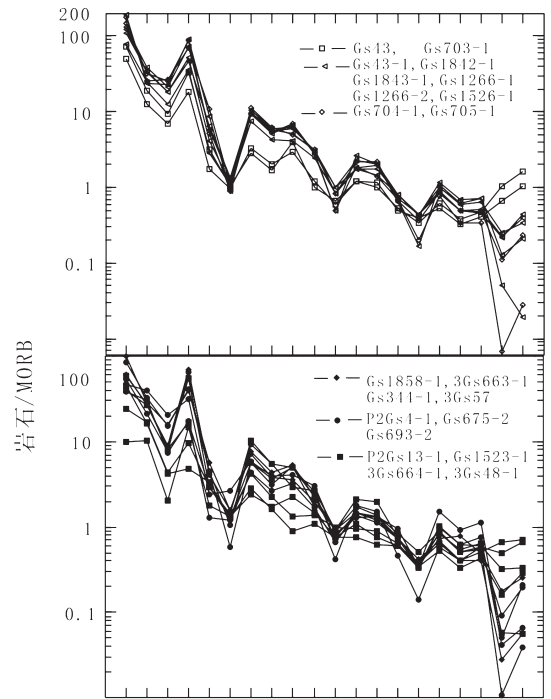


图7 洋中脊玄武岩标准化的微量元素蛛网图
Fig.7 MORB-normalized trace element spidergrams of granitoids

4.12, 稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(图6)中为轻稀土富集型,轻重稀土分馏程度相似,Eu具轻度负异常。花岗闪长岩和二长花岗岩具有相似的配分模式图,轻稀土富集,(La/Yb)为7.5~15.97,轻稀土分馏程度较高,曲线向右陡倾,重稀土分馏程度较低,曲线近于平缓,δEu为0.5~0.73,具有中度负异常。

多数岩体为低Sr(<400×10⁻⁶)、低Yb(<2×10⁻⁶)型花岗岩,反映了地壳中等厚度(30~50 km)条件下,残留相为斜长石+角闪石+石榴石(麻粒岩相),熔体与石榴石和斜长石处于平衡,形成低Sr、低Yb型的花岗岩^[13],与典型岛弧花岗岩不同,用Bevins的MORB数据标准化,微量元素比值蛛网图(图7)曲线形态大体相似,Rb、Th、La具有明显的正异常,Ba、Ta、Sr、P、Ti具明显负异常,Ti、Nb、Ta槽说明岩浆形成于100 km的深度,这通常是弧岩浆形成的深度,金红石富含Ti、Nb、Ta,而弧岩浆通常形成于金红石稳定区;同时曲线中具有明显的Eu、Sr谷,如果岩浆形成后没有发生过明显斜长石的分结晶的话,这种特征表明岩浆形成于斜长石的稳定区(约小于50 km),这样就产生了一个矛盾,要么是岩浆形

表 3 金沙江岩带花岗岩岩石地球化学成分

Table 3 Geochemical analysis of granitoids in the Jinshajiang rock zone

成分	拉地贡玛花岗闪长岩				缅切英云闪长岩			日阿日曲石英闪长岩			
	GS1858-1	GS344-1	3GS663-1	3GS57	P2GS4-1	GS675-2	GS693-2	P2GS13-1	GS1523-1	3GS664-1	3GS48-1
SiO ₂ /10 ⁻²	76.53	69.03	68.44	68.38	66.27	62.89	64.83	53.78	57.57	57.15	61.05
TiO ₂	0.21	0.5	0.49	0.51	0.55	0.63	0.53	0.52	0.57	0.5	0.76
Al ₂ O ₃	11.94	13.84	14.27	14.54	14.49	16.39	15.49	18.76	15.4	15.87	14.6
Fe ₂ O ₃	1.1	1.74	0.59	0.91	3.02	0.79	0.71	0.68	1.29	1.24	0.66
FeO	1.15	3.08	3.38	1.98	2.63	4.78	3.75	7.1	5.36	5.72	5.25
MnO	0.05	0.09	0.09	0.05	0.09	0.12	0.09	0.17	0.13	0.13	0.12
MgO	0.88	1.38	2.12	0.99	2.34	2.11	2.8	5.6	6.79	5.31	4.94
CaO	1.72	4.74	4.7	2.25	3.47	5.9	5.54	6.33	8.09	10.16	7.36
Na ₂ O	3.77	3.07	2.13	4.38	3.05	2.52	2.28	1.66	2.2	1.8	2.08
K ₂ O	1.14	1.12	2.25	3.07	1.27	1.33	2.33	1.21	0.65	0.31	0.64

注:化学成分由国土资源部武汉综合岩矿测试中心分析,2005.

成于大于 50 km 的深度,要么形成于小于 50 km 的深度,这个矛盾解决的最佳方案是原来形成于大于 50 km 的岩浆固结产物后来成为了在小于 50 km 深度上部分熔融形成岩浆的源区。

3.2 金沙江岩带

岩石地球化学分析(表 3)中,石英闪长岩的 SiO₂ 含量为 53.78%~61.05%,岩石具有富 MgO (4.94%~6.79%)、CaO (6.33%~10.16%) 的特征, K₂O/Na₂O 比值 0.17~0.73, 山德指数 (A/CNK) 主要为 0.73~0.83, 里特曼指数为 0.31~0.76, 图 6 中样品集中分布于低钾区, 因此该岩石为低钾偏铝质钙碱性岩。英云闪长岩 SiO₂ 含量为 62.89%~66.27%, 为中酸性岩, CaO 为 3.47%~5.9%, MgO 为 2.11%~2.8%, K₂O/Na₂O 平均比值为 0.66, 里特曼指数为 0.75~0.93, 山德指数 (A/CNK) 主要为 0.95~1.14, 为偏铝-过铝质岩石, 样品集中于中钾区(图 6), 因此该岩石为中钾偏铝-过铝质钙碱性岩。花岗闪长岩 SiO₂ 含量为 68.38%~76.53%, MgO 为 0.88%~2.12%、CaO 为 1.72%~4.7%, K₂O/Na₂O 平均比值为 0.71, 山德指数 (A/CNK) 主要在 0.93~0.99, 里特曼指数为 0.67~2.19, 样品集中分布于低钾区(图 6), 因此该岩体为低钾偏铝质钙碱性岩。因此, 总体看来, 金沙江岩带在常量元素化学组成特征上与巴颜喀拉岩带是存在一些区别的, 金沙江岩带以中低钾钙碱性岩为主, 巴颜喀拉岩带以高钾钙碱性岩为主。石英闪长岩稀土总量较低, \sum REE 主要集中在 46.531 \times 10⁻⁶~58.06 \times 10⁻⁶, 稀土元素球粒陨石标准化配分模式图

(图 7) 中为轻稀土富集型, 富集程度较低, (La/Yb)_n 为 4.05~4.12, Eu 具轻度负异常, δ Eu 为 0.61~0.91, 轻稀土分馏程度高, 而重稀土分馏程度要低一些。英云闪长岩稀土总量较高, \sum REE 为 94.25 \times 10⁻⁶~130.60 \times 10⁻⁶, 稀土元素球粒陨石标准化配分模式图中(图 6)可以看出稀土元素富集程度明显高于石英闪长岩, (La/Yb)_n 在 8.66~10.11, Eu 具轻度亏损特征。花岗闪长岩 \sum REE 主要集中在 75.66 \times 10⁻⁶~126.29 \times 10⁻⁶, (La/Yb)_n 为 3.07~10.02, δ Eu 为 0.58~0.74, 具有较为明显的负 Eu 异常。总体来看, 金沙江岩带内的花岗岩稀土元素丰度变化较为复杂, 不似巴颜喀拉岩区那样具有明显的规律性。

与巴颜喀拉岩带相似, 金沙江岩带不同类型岩石仍以低 Sr、低 Yb 型为主, 该岩石序列中最酸性端元多数样品似具低 Sr、高 Yb 型特征, 似反映其形成于正常地壳厚度, 微量元素比值蛛网图(图 7)中特征也与巴颜喀拉岩带具有相似性。

4 讨论与结论

由上可见, 治多地区的深成岩类给我们留下了许多问题, 其中包括侵入岩形成年龄、岩浆成因与演化及其产生的构造背景。

(1) 单颗粒锆石 U-Pb 法测年给出了 3 组数据: (196.8 \pm 0.3)Ma、(212.3 \pm 2.1)Ma~(215.5 \pm 0.8) Ma 和 220.7 Ma~(225.2 \pm 0.5) Ma, 其中第一组年龄仅出现在巴颜喀拉岩带, 后两组年龄同时出现在巴颜喀拉岩带和金沙江岩带。这有可能暗示着该区岩浆活动

延续时间较长,或者有新生源区发生部分熔融?也可能这两个因素都有。与冈底斯带(25 Ma)或整个青藏高原(>60 Ma)大陆碰撞以后岩浆活动的持续时间相比^[4],本区的岩浆活动持续时间并不算长。因此,可以认为研究区侵入岩形成于晚三叠世中期—早侏罗世初期。这样的测试结果与陈文等^[9-10]测得的邻区深成岩侵位年龄也是一致的,因而从构造旋回的角度来说本区深成岩仍应划归为印支期。由于 Ar/Ar 同位素体系的封闭温度比锆石 U-Pb 体系低得多,两种不同方法测试结果的一致性可能表明该区深成岩侵位较浅,亦即岩浆具有较快速凝固结的特点,围岩的强烈热接触变质作用和金沙江带岩体的长条状产出形态也可能作为岩浆侵位较浅的佐证。然而,后两组年龄可以出现在同一侵入单元的样品中,则可能说明该区的确有新生的岩浆源区。在冈底斯,类似的情况也发生在冲江、南木和拉抗俄斑岩体中,其中 50~60 Ma 被认为是印度与亚洲大陆碰撞期间地幔镁铁质岩浆底侵形成含矿斑岩源区的时间,而约 15 Ma 则形成了含铜斑岩^[5]。但是,这样的分析对比和推测还应当得到成因岩石学的证实。

(2)巴颜喀拉岩区的深成岩组合为斑状二长花岗岩+花岗闪长岩+石英闪长岩,这个岩石序列不同于同源岩浆演化过程中的成分演化序列。岩石中暗色矿物以黑云母为主,次为角闪石,石英闪长岩及花岗闪长岩中含有极少量暗色闪长质包体,二长花岗岩中暗色闪长质包体则更为零星。这类岩体包体含量不多,却是曾经发生过岩浆混合作用的有力证据。区域资料^①表明巴颜喀拉岩区南部地区(巴北断裂以南)晚三叠世二长花岗岩占主体,并以高钾钙碱性—钾玄岩系列为主,该组合岩石相当于 Barbarlin^[6]分类中的 KCG 花岗岩(富钾钙碱性花岗岩类)。在 Maniar 等^[7]常量元素构造环境判别图解中二长花岗岩属于 POG 型花岗岩,石英闪长岩及花岗闪长岩为 IAG+CAG 型。可见,该区深成岩类与冈底斯岩基带有许多相似之处,应当属于碰撞后岩浆活动的产物。

金沙江岩带内侵入岩形成于晚三叠世,岩石组合为石英闪长岩+英云闪长岩+花岗闪长岩,均为中低钾钙碱性岩,结合区域资料,金沙江岩带内偏基性成分(石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩)在出露面积上占有绝对优势,从这一点上可以看出,金沙江岩带印支期侵入岩组合与巴颜喀拉岩带具有较明显

的差别,基性程度明显高于巴颜喀拉岩区。金沙江岩带岩体中暗色矿物主要为角闪石,各岩性单元细粒暗色闪长质包体均十分发育,为较典型的 ACG 型花岗岩。在 Maniar 等^[7]常量元素构造环境判别图解中,所有岩性均可判别为 IAG+CAG 型,从岩石组合特征来看应当为 IAG 型。

但是,这样的判别显然是相互矛盾的,出现了 POG 型花岗岩带和 IAG 型花岗岩带同时平行产出的情况。要么 IAG 型花岗岩的判别有误,要么巴颜喀拉的花岗岩不属于 POG 型,或者它们都属于 POG 型,只是因为岩石圈结构或源区物质成分的差异导致了其成分的不同。

(3)青海南部治多地区印支期花岗岩分布于缝合带两侧两个岩区(带)内,这种特征与弧火成岩仅分布于俯冲带上盘的特征不相一致,岩石微量元素特征显示它们也并不具典型弧花岗岩的特征。近年一些学者^[4-7]通过中生代羌塘盆地的研究确定金沙江缝合带的初始碰撞时间为卡尼期与诺利期之间,也从另一个方面证明了金沙江洋盆俯冲作用结束的时限,因此本区花岗岩不可能形成于洋陆俯冲的构造环境中,而应当形成于碰撞或碰撞以后构造阶段。看来,将该区深成岩划分为 POG 型是比较合适的。

(4)如前所述,本区深成岩的一个共同特征是同时存在明显的 Eu 负异常和 Ti、Ta、P、Sr 谷。这可能有 3 种解释:①来自金红石稳定区的岩浆通过强烈的斜长石分离结晶作用形成了本区的深成岩类;②板块碰撞之前的洋—陆俯冲阶段形成了一个源区,该源区在碰撞后被抬升到比较浅的位置(如 50~30 km)并发生部分熔融;③斜长石稳定区部分熔融形成的花岗质岩浆与不同比例的较深部岩浆发生了混合作用。从稀土元素分配形式来看,虽然金沙江岩带的岩石比巴颜喀拉岩区偏基性,它们的 Eu 负异常并没有多大差别,因而第一种解释看来不太合适。从本区锆石测年资料分析,第二种解释是可能的,即存在有一个形成于卡尼期的岩浆源区,这个岩浆源区的岩石应当是陆块碰撞前洋陆俯冲阶段形成的弧岩浆岩,岩石中 Ti、Ta、P 谷的存在即说明了这一点。如果这一源区岩石在抬升至 50~30 km 发生重熔,就可能构成本区花岗岩类的一个重要来源。从 Sr 谷及 Eu 负异常可以看本区花岗岩确实存在有另外一个岩浆来源,即浅源岩浆,且它们所占比例可能较大。但是,这

①张雪亭,杨生德,杨站君,等. 1:100 万青海省大地构造图说明书(待出版), 2007.

样的解释尚不能解决有关岩浆混合作用问题。研究区晚印支期花岗质岩石中含有暗色微粒包体,金沙江岩带花岗岩类中尤为发育,这类岩石的成因常常与幔源岩浆底侵作用联系起来^[8]。因此,本区花岗岩具有多源区的特征,上述解释中 b、c 可能都参与了深成岩浆的形成过程。这种特征的岩浆作用可能是青海三江北段印支期岩浆作用的一个重要特征,该构造阶段巴颜喀拉地区是缺少典型碰撞型花岗岩的^[9],金沙江岩带中也罕有报道,取而代之的主要是这种具多源区特征的碰撞后花岗岩。

(5)根据上述岩石成因解释,深成岩的岩石多样性主要与岩浆起源和多源区岩浆混合作用有关。从研究区的实际出发,结合区域资料,这些深成岩基本上形成于碰撞后构造环境,在某些方面与冈底斯岩基带的形成机制有某些类似之处。但是,与冈底斯带不同的是,本区的深成岩不仅侵入于上叠板块中,而且也侵入于蛇绿岩混杂带中,这样的产出方式很可能与碰撞后岩石圈拆沉作用有关,具体的机制尚需要更多的实际资料进行约束。

(6)青海三江北段一个最重要的特征是存在一条与造山带平行的晚三叠世为主的花岗岩带及火山岩带,这对于进一步进行区域找矿预测工作是有参考价值的。

致谢: 国土资源部武汉综合岩矿测试中心帮助完成了本次研究工作的岩石地球化学测试工作,天津地质矿产研究所李怀坤研究员帮助完成了同位素测年工作,在此一并致以最真诚的谢意。

参考文献 (References):

- [1] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11):701-707.
Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (1):701-707(in Chinese with English abstract).
- [2] 张以葑, 郑健康. 青海可可西里及邻区地质概论[M]. 北京: 科学出版社, 1994:148-152.
Zhang Yifu, Zheng Jiankang. Geological Overview in Kokshili, Qinghai and Adjacent Areas[M]. Beijing: Science Press, 1994:148-152(in Chinese with English abstract).
- [3] 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.
Ren Jishun, Xiao Liwei. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250000 geological mapping [J].

- Geological Bulletin of China, 2004, 23 (1):1-11 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李勇, 王成善, 伊海生. 中生代羌塘前陆盆地充填序列及演化过程[J]. 地层学杂志, 2002, 26(1):62-67.
Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng. Filled Sequence and evolution of the Mesozoic Qiangtang composite foreland basin in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Journal of Stratigraphy, 2002, 26(1): 62-67(in Chinese with English abstract).
- [5] 李勇, 王成善, 伊海生. 西藏晚三叠世北羌塘前陆盆地构造层序及充填样式[J]. 地质科学, 2002, 37(1):27-37.
Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng. Tectonic sequence and filling models of Late Triassic Northern Qiangtang Foreland Basin in Xizang [J]. China Geological Science, 2002, 37(1):27-37(in Chinese with English abstract).
- [6] 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):191-196.
Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng. The Late Triassic collision and sedimentary responses at western segment of Jinshajiang Suture Tibet [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2) :191-196 (in Chinese with English abstract).
- [7] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原大地构造特征及盆地演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2001:17-106.
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, et al. The Tectonic Characteristics of the Qinghai-Tibet Plateau and Basin Evolution [M]. Beijing: Science Press, 2001:17-106(in Chinese with English abstract).
- [8] 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.
Mo Xuanxue, Deng Jinfu, Dong Fangliu, et al. Volcanic petrotectonic assemblages in Sanjiang Orogenic Belt, SW China and implication for tectonics [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(2):121-138(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈文, Arnaud N. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究[J]. 地球学报, 1997, 18(3):261-266.
Chen Wen, Arnaud N. Isotope geochronology study for "POG Type" granite in Bayan Kar Terrain [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(3):261-266(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈文, 张彦, 陈克龙, 等. 青海玉树哈秀岩体成因及 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(5):393-396.
Chen Wen, Zhang Yan, Chen Kelong, et al. Tectonic discrimination and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of Haxiu quartz diorite in Yushu, Qinghai Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(5): 393-396(in Chinese with English abstract).
- [11] 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义 [J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 867-880.
Hu Jianmin, Meng Qingren, Shi Yuruo, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi terrane and its implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (3):867-880(in Chinese with English abstract).
- [12] 李惠民, 李怀坤, 陆松年, 等. 用矿脉中热液锆石 U-Pb 定年确

- 定东坪金矿的成矿时代[J]. 地球学报, 1998, 19(增刊): 57-60.
- Li Huimin, Li Huaikun, Lu Songnian, et al. Determination of age of gold mineralization of Dongping gold deposits by U-Pb dating hydrothermal Zircons from ore veins [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1998, (Supp.): 57-60 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的 Sr、Yb 分类及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22(9): 2249-2269.
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, et al. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (9): 2249-2269 (in Chinese with English abstract).
- [14] 罗照华, 莫宣学, 侯增谦, 等. 青藏高原新生代形成演化的整合模型——来自火成岩的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 197-211.
- Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, et al. An integrated model for the Cenozoic evolution of the Tibetan plateau constraints from igneous rocks[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(4): 196-211 (in Chinese with English abstract).
- [15] 曲晓明, 侯增谦, 莫宣学, 等. 冈底斯斑岩铜矿与南部青藏高原隆升之关系——来自含矿斑岩中多阶段锆石的证据 [J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 388-400.
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Mo Xuanxue, et al. Relationship between Gangdese porphyry copper deposits and uplifting of southern Tibet plateau; Evidence from multistage zircon of ore-bearing porphyries [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (4): 388-400 (in Chinese with English abstract).
- [16] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. Lithos, 1999, 46: 605-626.
- [17] Miniard P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids, Geol. Soc. Am. Bull, 1989, 101, 635-643
- [18] 谌宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合成因花岗岩的岩浆底侵作用机制[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 386-395.
- Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun orogenic belt[J]. Geology in China, 2005, 32(3): 386-395 (in Chinese with English abstract).

Indosinian granitoids in the Zhidoi area in the northern segment of the Sanjiang belt, Qinghai: Their petrogenesis and zircon U-Pb dating

WANG Bing-zhang^{1,2}, LUO Zhao-hua¹, ZENG Xiao-ping²,
WANG Yi-zhi², QI Sheng-sheng²

(1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract: The regional geological survey at a scale of 1:250000 in the Zhidoi area in the northern segment of the Sanjiang belt, Qinghai Province, suggests that the extensively exposed intrusive rocks in the area mainly formed in the Late Triassic. According to the single-zircon U-Pb dating, granodiorite and porphyritic monzogranite in the Bayan Har terrane in the northeast of the Zhidoi area have ages of 212.38 ± 7.1 Ma and 196.8 ± 0.3 Ma respectively, and quartz diorite in the Jinshajiang ophiolitic mélangé zone in the southwest of the Zhidoi area has an age of 215.4 ± 0.8 Ma. Based on the geology, petrology and geochemistry of the rocks, combined with the characteristics of regional tectonic evolution, it may be preliminarily determined that: these late Indosinian-early Yanshanian granitoids formed in a post-collisional stage; the magma has the feature of multiple sources and its formation may be related to lithospheric delamination.

Key words: Qinghai; northern segment of the Sanjiang belt; Zhidoi area; granite; U-Pb dating

About the first author: WANG Bing-zhang, male, born in 1969, senior engineer and Ph.D candidate, mainly engages in the study of regional geology; E-mail: wzb6901@126.com.