https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.219



松潘一甘孜造山带东缘塔公岩体岩石学、同位素年代 学特征及其构造意义

邓 红1,唐 渊2,骆志红1,罗林洪1,梁 兵1,贾志泉1,李 豪1,刘 祥1

四川省地质矿产勘查开发局一〇八地质队,四川成都 611230
中国地质调查局成都地质调查中心,四川成都 610081

摘 要: 松潘一甘孜造山带东缘的三叠纪一侏罗纪中酸性花岗岩,如塔公岩体,为晚三叠世的碰撞造山以及燕山期的构造演 化提供了重要信息.区域地质调查填图表明,塔公岩体为石英闪长岩、花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩.其地球化学特征表明 岩石主体属高钾钙碱性系列、准铝质一过铝质过渡系列,稀土配分曲线显示其轻稀土富集、重稀土亏损,具有壳源岩浆特征,稀 土一微量元素投点结果表明花岗岩形成于造山时期后碰撞阶段.对塔公花岗岩体采集的4件同位素样品的年龄数据质量较 高,为214±1 Ma、214±1 Ma、215±1 Ma、216±1 Ma;该组年龄可以作为限制印支晚期扬子、华北和昌都板块之间碰撞时限 的证据.基于塔公花岗岩类的岩石地球化学特征、同位素年代学特征,结合区域研究资料,认为松潘一甘孜造山带东缘类似塔 公岩体的晚三叠世花岗岩类形成于昌都、扬子和华北地块后碰撞阶段的岩石圈拆沉作用. 关键词:松潘一甘孜造山带;塔公岩体;花岗岩;地球化学;同位素年代学;后碰撞阶段;拆沉作用.

中图分类号: P581 **文章编号:** 1000-2383(2021)02-527-13 **收稿日期:** 2020-06-15

Petrology and Isotopic Chronology of Tagong Granite in Eastern Songpan-Ganzi Fold Belt and Its Tectonic Significance

Deng Hong¹, Tang Yuan², Luo Zhihong¹, Luo Linhong¹, Liang Bing¹, Jia Zhiquan¹, Li Hao¹, Liu Xiang¹

1. 108 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chengdu 611230, China
2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China

Abstract: The Triassic-Jurassic intermediate-acid granites in the eastern Songpan-Ganzi fold belt, such as the Tagong granite, provide important information for the collisional orogeny of the Late Triassic and the tectonic evolution in Yanshanian. The regional geological survey map shows that the Tagong granite consists of quartz diorite, granodiorite, biotite monzonitic granite. Its geochemical characteristics indicate that the main body of the rock belongs to high-potassium-calcium-alkaline series and quasi-aluminum-over-aluminum transition. The rare earth element pattern shows that it is enriched in light rare earth and depleted in heavy rare earth. It has the characteristics of crust-derived magma. The rare earth-trace elements dosing results indicate that granite was formed in the post-collision stage of the orogenic period. The isotope samples collected from the Tagong granite obtained high-quality isotopic age, namely 214 ± 1 Ma, 214 ± 1 Ma, 215 ± 1 Ma, 216 ± 1 Ma, which can be used as evidences to limit the collision time among the Yangtze, North China and Changdu plates in the Triassic. Based on the geochemical characteristics and isotopic chronology of the Tagong granite in the eastern Songpan-Ganzi fold belt were formed due to the lithospheric delamination in the post-collision stage of Changdu, Yangtze and the North China plates.

作者简介:邓红(1986-),男,工程师,主要从事区域地质矿产调查和研究. ORCID:0000-0003-3993-5359. E-mail:676689076@qq. com

引用格式:邓红,唐渊,骆志红,等,2021.松潘一甘孜造山带东缘塔公岩体岩石学、同位素年代学特征及其构造意义.地球科学,46(2):527-539.

基金项目:中国地质调查局项目(Nos.DD20190053,DD20160021).

Key words: Songpan-Ganzi fold belt; Tagong granite; granite; geochemistry; isotopic chronology; post-collision stage; delamination.

0 引言

松潘一甘孜造山带内部发育大量的晚三叠 世一早侏罗世后碰撞花岗岩,这些岩体侵入西康群 中,是松潘一甘孜造山带地质演化过程中的重要组 成部分.很多学者对松潘一甘孜造山带内的岩体进 行了研究(袁海华等,1991;Roger et al., 2004;胡健 民等,2005;赵永久等,2007;万传辉等,2011;袁静 等,2011;段志明等,2013;赖绍聪等,2015),初步揭 示了花岗岩的时空分布和岩石学特征.对于这些花 岗岩的成因,有学者提出(Roger et al.,2004)源区物 质部分熔融主要是造山过程中的大型滑脱一推覆 构造剪切生热形成的;而有的学者(胡健民等, 2005;赵永久等,2007)则认为这些花岗岩大多为I 型花岗岩,岩浆物质可能是底侵的幔源岩浆与下地 壳熔融产物混合的结果,除构造剪切生热之外还有 地幔热源的参与.另外一些学者(胡健民等,2005; 赵永久等,2007;万传辉等,2011;赖绍聪等,2015) 通过花岗岩体的同位素年代学研究对松潘一甘孜 造山带的构造演化、基底性质等方面进行了探讨.

显然,对松潘一甘孜造山带内部中生代花岗岩 类的进一步研究,对于澄清区域花岗岩类形成时代、 岩石学及地化特征、岩浆演化及岩浆源等问题,继而 探讨松潘一甘孜造山带构造演化及晚三叠世构造机 制的转化有重大意义.本文从松潘一甘孜造山带东 部的塔公岩体入手,厘清其岩石地球化学特征、侵位 时代,试图研判其岩浆来源及形成机制,为该区域中 生代岩浆作用及构造演化研究提供新的约束.

1 区域地质概况

广义上的松潘一甘孜造山带为东西向延伸、东



第2期

宽西窄的三角形地质体(图1).南东缘大致以龙门 山断裂带与跑马山断裂带为界毗邻扬子陆块西缘, 北缘以阿尼玛卿缝合带为界,南西缘以金沙江蛇绿 混杂岩带为界毗邻羌塘一昌都地块(潘桂棠等, 2009).地质体内部以发育三叠系西康群的一套巨 厚的复理石沉积为特征,张云湘等(1988)认为西康 群连续整合覆盖于寒武纪一古生代地层之上.印 支期三叠纪末,扬子、华北和昌都三个块体之间的 碰撞、收敛,使得古特提斯洋闭合、可可西里前陆盆 地收缩;之后三个块体持续碰撞、挤压,加之印度板 块从南东向楔入,从而形成了现今松潘一甘孜造山 带的格局.印支期的造山活动造成区内震旦系一 古生界强烈变形,同时三叠系西康群地层双向收 缩,使地壳明显增厚(赵永久等,2007).

在碰撞造山过程中,松潘一甘孜造山带内发育 大量的中生代中酸性侵入岩,包括本文的研究对象 塔公岩体.塔公岩体大地构造位置位于雅江残余 盆地东部(潘桂棠等,2009),东侧紧邻鲜水河断裂 带,远眺扬子陆块西缘;西部远眺甘孜一理塘断裂 带,远眺扬子陆块西缘;西部远眺甘孜一理塘断裂 带(图1).该岩体沿龙谷断裂产出,区域上可见数 个规模较小的岩体顺该断裂产出,总体呈北西向展 布;岩体内部可见较为明显的构造变形.岩体围岩 为西康群新都桥组与两河口组,岩性主要为一套 灰一深灰色变质粉砂岩、灰黑色粉砂质板岩,以及 少量的灰黑色碳质板岩;围岩内部发育一系列同 斜、倒转或平卧褶皱和断裂构造.岩体内部及围岩 的构造变形强弱特征表明,岩体侵位时代应晚于松 潘一甘孜造山带印支期主期构造发育时期.

2 岩体特征及岩石学特征

塔公岩体分布于康定市塔公镇南东侧,形态上 呈不规则的椭圆状,为一个复式岩体,出露面积约 40 km².塔公花岗岩体北侧及东、西两侧侵入西康 群新都桥组中,南侧侵入西康群两河口组中,岩体 与围岩均呈侵入接触关系,接触界线多呈曲线港湾 状,局部被第四系残坡积、冲积物所覆盖.岩体边 部发育少量冷凝边;围岩中普遍发育数百米至一千 米宽的变质晕带,晕带内岩石普遍遭受热接触变质 为角岩.岩体边部发育大小不等的变质砂岩捕掳 体.塔公花岗岩体可细分为石英闪长岩、花岗闪长 岩、黑云母二长花岗岩三个较大规模的侵入体(图 2),各侵入体均为脉动侵入接触关系.岩体具有倾 向北西的外倾特征. 石英闪长岩(ôoT₃):岩石呈灰色,细一中粒半 自形粒状结构,块状构造,主要由斜长石(60%~ 65%)、石英(5%)、单斜辉石(10%~25%)、角闪石 (2~3%)、黑云母(5~10%)组成.其中,斜长石呈 半自形板状,粒径一般为0.1~1.1 mm,杂乱分布, 环带构造较发育,部分核部明显绢云母化、绿帘石 化,边缘相对较干净,局部被钠长石交代,少数隐约 可见聚片双晶;石英呈他形粒状,片径一般为 0.1~0.6 mm,似填隙状分布于斜长石间,表面干 净,粒内轻微波状消光;黑云母呈叶片状,粒径一般 为0.1~1.1 mm,星散状分布,少数以单斜辉石、角 闪石反应边形式产出,少量绿泥石化(图4a).

花岗闪长岩(γðT₃):岩石呈灰色,细一中粒花 岗结构,块状构造、弱定向构造,由斜长石(45%)、 钾长石(20%)、石英(20%~25%)、黑云母(10~ 15%)组成.斜长石呈近半自形板状,粒径一般为 0.2~2.0 mm,少数 2.0~2.7 mm,长轴略显方向性 排列,轻粘土化,环带构造较发育,与钾长石接触部 位常见交代蠕虫结构.石英呈他形粒状,粒径一般 为0.1~2.0 mm,单晶或(变晶)集合体状产出,长轴 方向性排列,表面干净,部分粒内见明显波状消光. 黑云母呈微鳞片状,片径一般为0.1~1.1 mm,长轴 方向性排列,部分可见晶体弯曲变形现象,少数被 绿泥石交代(图4b).

黑云母二长花岗岩 $(\eta\gamma T_3)$:岩石呈浅灰一灰 白色,细一中粒花岗结构,块状构造,由斜长石 (25%~35%)、钾长石(20%~30%)、石英(20%~ 30%)、单斜辉石(5%~15%)、角闪石(2%~5%)、 黑云母(10%~15%)组成.斜长石呈半自形板状, 粒径一般为0.2~2.0 mm,少数2.0~4.0 mm,环带 构造较发育,部分核部明显绢云母化、纤闪石化、 绿帘石化,边缘相对较干净,与钾长石接触部位常 见交代蠕虫结构. 钾长石为微斜条纹长石, 半自形 板状,部分晶内包嵌少量斜长石、黑云母晶体,局 部交代斜长石,石英呈他形粒状,粒径一般为 2.0~4.0 mm. 单斜辉石呈半自形一他形柱粒状,零 散分布,一般具轻微纤闪石化,常见角闪石、黑云 母反应边.角闪石半自形一他形柱粒状,粒径 一般为 0.2~3.0 mm,零星分布,部分以单斜辉石 反应边形式产出,少量黑云母反应边,具轻微纤 闪石化.黑云母为片状,片径一般为0.2~ 2.0 mm, 少量可达 3.0~5.0 mm(图 4c、4d).



Fig. 2 Schematic geological map of the Tagong granite and its surrounding rocks



图 3 塔公花岗岩体露头照片 Fig.3 The outcrops of Tagong granite



图 4 塔公花岗岩镜下特征 Fig.4 The microscope characteristics of Tagong granite a. 石英闪长岩;b. 花岗闪长岩;c、d. 黑云母二长花岗岩

3 样品及实验方法

本文共采集岩石地球化学样品9件、锆石U-Pb 同位素样品4件(表1).

9件地化样品蚀变较弱,经清除表面杂质后制 成粉末进行主量和微量元素分析.主量元素分析用 电感耦合等离子质谱仪X7完成,微量元素的测定 在等离子发射光谱仪 ICAP6300上进行,溶样和分 析流程采用标准流程,用于监测分析结果的标样为 国际标准样(G-2、SY-4和W-2)和中国国家标准样 (GSR-1和GSR-3).分析结果显示,主量、微量元素 的分析精度和准确度均优于10%.所有元素含量的 测试工作均由自然资源部西南矿产资源监督检测 中心完成.

表1 样品信息 Table 1 Sample information

Table 1 Sample mormation					
样品编号	样品用途	采样高程 (m)	经度	纬度	岩石名称
PM17-14-1	主量、微量、稀土元素分析	4 171	101°35′21"E	30°12′16"N	灰色细粒石英闪长岩
PM17-14-2	主量、微量、稀土元素分析	4 171	101°35′21"E	30°12′16"N	灰色细粒石英闪长岩
PM17-19-1	主量、微量、稀土元素分析;锆石U-Pb同位素	4 209	101°35′12"E	30°12′30"N	灰色细一中粒花岗闪长岩
PM17-29-1	主量、微量、稀土元素分析;锆石U-Pb同位素	4 143	101°34′46"E	30°13′28"N	灰色细-中粒黑云母花岗闪长岩
PM17-30-1	主量、微量、稀土元素分析	4 152	101°34′37"E	30°13′31"N	灰白色中粒黑云母二长花岗岩
PM17-34-1	主量、微量、稀土元素分析	4 124	101°34′21"E	30°13′47"N	灰色中细粒黑云母花二长岗岩
PM17-43-1	主量、微量、稀土元素分析;锆石U-Pb同位素	4 024	101°34′00"E	30°14′46"N	灰白色细粒黑云母二长花岗岩
PM17-63-1	主量、微量、稀土元素分析;锆石U-Pb同位素	3 984	101°32′33"E	30°16′50"N	灰白色细粒花岗闪长岩
PM17-66-1	主量、微量、稀土元素分析	3 948	101°32′32"E	30°17′13"N	灰白色细粒花岗闪长岩

4件同位素样品用于锆石 U-Pb 同位素年代学 测定,并在廊坊地质服务有限公司利用标准技术对 锆石进行了分选.锆石制靶后,对其进行锆石阴极 发光照相,以观察锆石的内部结构.锆石 U-Pb 年龄 在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家 重点实验室利用 LA-ICP-MS 方法测定,激光束斑 直径为 32 μm,分析方法及仪器参数见 Yuan *et al.* (2004).

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素特征

塔公岩体岩石化学全分析见附表1,从表中可 看出,SiO₂含量为55.28%~68.62%,属于中酸性 岩.在SiO₂-(K₂O+Na₂O)图解上样品点落入辉长 闪长岩、闪长岩与石英闪长岩区域(图5a),在 ANOR-Q'图解(ANOR=100×An/(An+Or), Q'=Q/(Q+Ab+An+Or))上落人石英闪长岩和 花岗闪长岩区域(图5b),结合薄片鉴定结果认为后 者投图结果更切合实际.在硅钾图解(图5c)中,样 品点主要落入高钾钙碱性区域,仅一件样品落入钙 碱性区(闪长岩);在A/CNK-A/NK图解(图5d) 中落入准铝质与过铝质系列的分界线附近,而位于 I-S线靠I-侧.主量元素结果显示样品以石英闪长 岩-花岗闪长岩为主,主体属高钾钙碱性系列、准 铝质-过铝质过渡系列,结合岩体中较多的暗色包 体认为岩体具有壳幔混源的特征.

4.2 稀土元素特征

附表1显示,塔公花岗岩体的稀土元素总量分 布范围较窄,为124.52~157.79,ΣLREE/ΣHREE 为10.58~14.37;δEu值为0.72~1.12,多数小于1, 表现为Eu弱亏损.稀土元素配分模式为右倾型(图



图 5 塔公花岗岩体主量元素图解 Fig. 5 Graphical diagrams of the main elements of the Tagong granite





PM17-63-1

6a),轻稀土富集较明显,重稀土亏损;所有样品稀土 元素配分曲线形态相似,说明其为同源岩浆演化的 产物,而配分曲线的不一致性表明岩浆侵位深度有 一定的差异(图 6c).总体而言,塔公岩体具有壳源 岩浆的特征,但不排除有幔源物质参与.

PM17-43-1

4.3 微量元素特征

笔者测定了塔公岩体9件岩石地球化学样品的 19种微量元素,结果见附表1.其中,Rb/Sr比值在 0.19~0.44之间,均值为0.28;Nb/Ta比值在8.97~ 16.71之间,均值为13.21;Zr/Hf比值在31.35~ 35.79之间,均值为33.44.微量元素的主要特征值 Rb/Yb=12.44~32.73,为分异程度一般的残余体. 与典型酸性岩微量元素的平均含量相比,塔公花岗 岩富集大离子亲石元素(Rb、U、K)和Th,相对亏损 高场强元素(Nb、Ta、Ti、P)和Ba(图6b);其Rb/Sr、 Nb/Ta比值相对较高,Zr/Hf比值相对较低.这些微 量元素特征表明塔公岩体为壳源岩浆的可能性 较大.

PM17-66-1

5 同位素年代学

采集的4件锆石U-Pb同位素样品的部分锆石 阴极发光图像见图7,锆石U-Pb同位素年龄分析结 果见附表1.

样品 PM17-19-1、PM17-29-1、PM17-43-1、 PM17-63-1的大部分锆石呈半自形一自形棱柱状,



图 7 塔公岩体锆石阴极发光图像 Fig.7 Cathodoluminescence (CL) images for zircons of Tagong granite

少数为长条状一粒状晶体碎片,长50~200 μm,长 宽比为1:1~3:1.大部分锆石晶体呈现清晰的岩浆 振荡环带,个别锆石同时具有振荡环带和扇形分带 特征(图7a,点10;图7b,点12;图7c,点18,点23; 图7d,点15),指示岩浆成因.少数锆石具有核一边 或核一幔一边结构(图7a,点05;图7b,点14;图 7d,点20);大多数锆石的边缘发育高冷光的增生 边,部分增生边切割内部振荡环带,个别锆石的幔 部发育振荡环带和旋回分带结构(图7b,点16;图 7c,点06,点16),表明这些锆石可能遭受了重结晶 作用的改造.

对样品 PM17-19-1的 24 颗锆石进行了分析, 共获得 24 组有效的表面年龄和微量元素(附表 1,图 8a、8b). 锆石的 Th、U含量分别为 72×10⁻⁶~361× 10⁻⁶和156×10⁻⁶~592×10⁻⁶,Th/U比值为0.35~0.66,指示岩浆锆石亲缘性.锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为211±1 Ma~220±2 Ma,加权平均年龄为214±1 Ma(MSWD=2.5),代表了岩浆岩的结晶年龄.

对样品 PM17-29-1 的 24 颗锆石进行了分析, 除去 1 个不谐和的或信号不佳的点外,共获得 23 组 有效的表面年龄和微量元素(附表 1,图 8c、8d). 锆 石 的 Th、U 含量分别为 $80 \times 10^{-6} \sim 330 \times 10^{-6}$ 和 $210 \times 10^{-6} \sim 910 \times 10^{-6}$; Th/U比值为 $0.35 \sim 0.45$, 指 示岩浆锆石亲缘性. 锆石 206 Pb/ 238 U年龄为 $210\pm$ 2 Ma $\sim 220\pm1$ Ma, 加权平均年龄为 215 ± 1 Ma (MSWD=2.5), 代表了岩浆岩的结晶年龄.

对样品 PM17-43-1 的 24 颗锆石进行了分析, 除去 14 个不谐和的或信号不佳的点外,共获得 10





组有效的表面年龄和微量元素(附表1,图8e、8f).告 石的Th、U含量分别为 $67 \times 10^{-6} \sim 707 \times 10^{-6}$ 和 $356 \times 10^{-6} \sim 1149 \times 10^{-6}$,Th/U比值为 $0.14 \sim 0.75$, 指示岩浆锆石亲缘性.告石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为 $212 \pm$ 1 Ma~219±1 Ma,加权平均年龄为 216 ± 2 Ma (MSWD=3.2),代表了岩浆岩的结晶年龄.

对样品 PM17-63-1 的 24 颗锆石进行了分析, 除去 4 个不谐和的或信号不佳的点外,共获得 20 组 有效的表面年龄和微量元素(附表 1,图 8g、8h). 锆 石的 Th、U 含量分别为 $112 \times 10^{-6} \sim 753 \times 10^{-6}$ 和 $210 \times 10^{-6} \sim 1215 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.33~0.65, 指示岩浆锆石亲缘性. 锆石 206 Pb/ 238 U 年龄为 $207\pm$ 2 Ma~218±2 Ma, 加权平均年龄为 214±1 Ma (MSWD=3.6), 代表了岩浆岩的结晶年龄.

6 岩石成因

利用9件岩石地球化学样品的微量元素进行 构造环境判别.在Y+Nb-Rb图解(图9a)上,样品 点主要落入火山弧花岗岩区域和碰撞后花岗岩区 域(叠加区)内,在Rb/30-Hf-3Ta图解(图9b)上 部分落入板内花岗岩,少量落入火山弧花岗岩与碰 撞后花岗岩相邻区域内.结合获得的岩体同位素 年龄(晚三叠世),研究区为印支晚期碰撞造山时 期,笔者认为塔公花岗岩体形成于后碰撞阶段,属 碰撞后花岗岩.

塔公岩体花岗岩类的稀土一微量元素特征表 明其具有壳源岩浆的特征,不排除下地壳流体沿断 裂破碎带上涌的可能.1:5万新都桥幅、八角楼幅的 区域地质调查成果表明,松潘一甘孜地体上的晚三 叠世中酸性岩浆岩有幔源物质的贡献或直接是地 幔熔融的产物,主要证据是岩体中包含岩浆混合作 用形成的暗色细粒包体(图10),指示幔源岩浆参与 了岩浆过程并提供了热源.因此,塔公岩体花岗岩 类为壳幔混源岩浆的产物.

7 构造意义

在早一中三叠世,昌都、扬子板块和华北板块 发生碰撞.通常情况下,碰撞导致的增厚地壳熔融 仅能形成小规模的岩体(赵永久等,2007;万传辉 等,2011;段志明等,2013),而松潘一甘孜地体上的 印支期中酸性岩类(包括A型花岗岩类)侵入至强 变形的三叠纪复理石,暗示其形成于后碰撞阶段 (Xiao et al., 2007). 后碰撞岩浆岩记录了板块碰撞 过程中壳一幔物质交换的大量信息,通过对中酸性 侵入体源区属性的研判可以获得深部动力学机制、 造山带演化历史及壳一幔相互作用等方面的重要 启示(Coulon et al., 2002; Xiao et al., 2007). 前人在 此基础上提出了一系列与后碰撞岩浆有关的动力 学模式,如岩石圈拆沉作用、岩浆底侵、板块断离作 用等.关于松潘一甘孜造山带内部发育的晚三叠 世一侏罗纪中酸性岩体的成因,一些学者(Roger et al., 2004; 胡健民等, 2005) 认为, 滑脱拆离断层诱 发的剪切热可以为松潘一甘孜地体上的花岗岩类 提供熔融所需的热源.剪切作用通常仅在断层附近 产生较高的温度(段志明等,2005);而且,通过这种 方式形成的花岗岩类与构造作用密切相关,通常呈







图 10 塔公花岗岩体内部的暗色细粒包体 Fig. 10 Dark fine-grained inclusions inside the Tagong granite

线性分布,被称为同构造花岗岩类(胡健民等, 2005).然而,松潘一甘孜地体上的花岗岩类通常呈 面状分布;塔公花岗岩类(214~216 Ma)侵入明显 变形的三叠系复理石沉积中,岩体没有明显的变 形,表明其侵位时间晚于变形时间;而且,这些花岗 岩类的熔融温度很可能>800°C,这是剪切热达不 到的(赵永久,2007).因此,本文塔公花岗岩类的形 成与滑脱拆离断层无关.

如前所述,从岩体的侵位时代、地球化学特征 来看,松潘一甘孜造山带东缘,尤其是雅江残余盆 地内部发育较多相似岩浆岩类,例如让客花岗岩类 (202~210 Ma)、麦扎隆巴-德伟隆花岗岩类(205~ 221 Ma)、同达沟花岗岩类(208~212 Ma),包括本 文的研究对象塔公岩体(214~216 Ma)等,其岩浆 动力学特征均可用岩石圈拆沉模式解释:表明这些 花岗岩类与松潘一甘孜造山带内印支期中酸性岩 类可能是在相似的构造背景下形成的.不同类型的 岩石反映了不同地壳层次源岩部分熔融的结果,松 潘一甘孜造山带印支期岩石圈拆沉作用导致的地 幔软流圈上涌,不仅诱发了下地壳物质的部分熔融 (如埃达克质岩浆和I型花岗岩岩浆的形成),还诱 发了中地壳物质的部分熔融,综上所述,松潘一甘 孜造山带东部晚三叠世花岗岩类形成于后碰撞阶 段的岩石圈拆沉作用.

8 讨论

后碰撞阶段是指主碰撞构造事件陆一陆对接 后到板内非造山阶段开始裂谷化之前的特定地质 时期,通常伴随着地壳堆叠加厚、区域隆升、伸展垮 塌,下部岩石圈拆沉及软流圈地幔的强烈上涌等一 系列浅部和深部事件的发生,因而是一个造山旋回 中壳一幔相互作用最强烈的时期,常形成巨量的花 岗岩侵位(赵永久等,2007;万传辉等,2011).

如前所述,塔公岩体的形成很可能有幔源物质的贡献,结合松潘一甘孜地体上中酸性岩类的形成可能与俯冲作用无关(Zhang et al.,2006,2007;Xiao et al.,2007)的认识,笔者认为岩石圈拆沉可能是塔公花岗岩类的形成机制(或模型).

岩石圈拆沉作用是后碰撞构造演化阶段一个 重要的与后碰撞岩浆有关的动力学模式,常用来解 释后碰撞花岗岩的形成机制(Jung et al.,1998; Wu et al.,2002; Ilbeyli et al.,2004).岩石圈拆沉作用是 指地质体汇聚、碰撞,导致地壳加厚、密度增大,从 而导致岩石圈重力的不稳定,使岩石圈拆沉到软流 圈中;在岩石圈拆沉过程中常伴随地幔软流圈物质 的上涌,并使未拆沉掉的岩石圈部分发生构造伸展 (时章亮等,2009).前人的研究表明(段志明等, 2005; Zhang et al.,2006,2007;时章亮等,2009),松 潘一甘孜造山带部分印支期花岗岩的成因为岩石 圈拆沉作用.

综上所述,笔者认为塔公岩体形成于昌都、扬 子和华北板块后碰撞阶段的岩石圈拆沉作用.

9 结论

(1)本次采集的9件样品的主量元素结果表明 塔公花岗岩类主体属高钾钙碱性系列、准铝质一过 铝质过渡系列,结合岩体中较多的暗色包体认为岩 体具有壳幔混源的特征.

(2)对塔公花岗岩体采集了4件同位素样品,获得了较高质量的同位素年龄数据:214±1 Ma、214±1 Ma、215±1 Ma、216±1 Ma.该组锆石年龄代表了塔公花岗岩体岩浆岩的侵位年龄.

(3)利用9件岩石地球化学样品的微量元素进行构造环境判别,结果表明塔公花岗岩形成于昌都、扬子和华北板块后碰撞阶段的岩石圈拆沉作用.

附表见本刊官网(http://www.earth-science.net).

致谢:野外工作中得到了四川省地质矿产勘查开 发局一〇八地质队教授级高级工程师何显刚、谢长 江,以及中国地质调查局成都地质调查中心潘桂棠研 究员、刘宇平研究员、孙志明研究员的指导和帮助;工 程师解龙帮助进行了锆石 LA-ICPMS 的实验与分 析,并进行了有益的探讨;审稿专家和编辑部老师对 本文提出了宝贵的修改意见.在此一并表示感谢!

References

- Coulon, C., Megartsi, M., Fourcade, S., et al., 2002. Post-Collisional Transition from Calc-Alkaline to Alkaline Volcanism during the Neogene in Oranie (Algeria): Magmatic Expression of a Slab Breakoff. *Lithos*, 62(3-4): 87-110. https://doi.org/10.1016/s0024-4937(02) 00109-3
- Duan, Z.M., Li, Y., Zhang, Y., et al., 2005. Zircon U-Pb Age, Continent Dynamics Significance and Geochemical Characteristics of the Mesozoic and Cenozoic Granites from the Tanggula Range in the Qinghai-Tibet Plateau. Acta Geologica Sinica, 79(1): 88-97 (in Chinese with English abstract).
- Duan, Z.M., Zhang, Y.X., Zhu, X.P., et al., 2013. Geochemistry and Isotopic Dating of the Mazicuo Quartz Diorites in the Southern Songpan-Ganzi Terrane and Its Tectonic Implications. Acta Geologica Sinica, 87(12): 1874-1886 (in Chinese with English abstract).
- Hu, J.M., Meng, Q.R., Shi, Y.R., et al., 2005. SHRIMP U-Pb Dating of Zircons from Granitoid Bodies in the Songpan-Ganzi Terrane and Its Implications. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 867-880 (in Chinese with English abstract).
- Ilbeyli, N., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F., et al., 2004. Petrogenesis of Collision-Related Plutonics in Central Anatolia, Turkey. *Lithos*, 72(3-4): 163-182. https:// doi.org/10.1016/j.lithos.2003.10.001
- Jung, S., Mezger, K., Hoernes, S., 1998. Petrology and Geochemistry of Syn- to Post-Collisional Metaluminous A-Type Granites: A Major and Trace Element and Nd-Sr-Pb-O-Isotope Study from the Proterozoic Damara Belt, Namibia. *Lithos*, 45(1-4): 147-175. https:// doi.org/10.1016/s0024-4937(98)00030-9
- Lai, S.C., Zhao, S.W., 2015. Geochemistry and Petrogenesis of Quartz Diorite in Tagong Area of Northwest

Sichuan. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 37 (3): 1–13 (in Chinese with English abstract).

- Li, P., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2019. Zircon U-Pb Geochronology, Geochemical Characteristics and Geological Significance of the Daan Granite in the Northwestern Margin of the Yangtze Block. *Earth Science*, 44(4): 1338-1356 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G.T., Xiao, Q.H., Lu, S.N., et al., 2009. Subdivision of Tectonic Units in China. *Geology in China*, 36(1): 1-28 (in Chinese with English abstract).
- Roger, F., Malavieille, J., Leloup, P. H., et al., 2004. Timing of Granite Emplacement and Cooling in the Songpan-Garzê Fold Belt (Eastern Tibetan Plateau) with Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sci*ences, 22(5): 465-481. https://doi. org/10.1016/ s1367-9120(03)00089-0
- Shi, Z.L., Zhang, H.F., Cai, H.M., 2009. Petrogenesis of Strongly Peraluminous Granites in Markan Area, Songpan Fold Belt and Its Tectonic Implication. *Earth Science*, 34(4): 569-584 (in Chinese with English abstract).
- Wan, C.H., Yuan, J., Li, F.X., et al., 2011. Late Triassic Granitoids in the Southern Part of the Songpan-Garze Fold Belt: Petrology, Geochemical Composition and Petrogenesis. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(2): 185-198 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Sun, D. Y., Li, H. M., et al., 2002. A-Type Granites in Northeastern China: Age and Geochemical Constraints on Their Petrogenesis. *Chemical Geology*, 187(1-2): 143-173. https://doi.org/10.1016/s0009-2541(02)00018-9
- Xiao, L., Zhang, H. F., Clemens, J. D., et al., 2007. Late Triassic Granitoids of the Eastern Margin of the Tibetan Plateau: Geochronology, Petrogenesis and Implications for Tectonic Evolution. *Lithos*, 96(3-4): 436-452. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.11.011
- Yuan, H.H., Zhang, Z.L., Zhang, P., 1991. The Uplifting and Cooling Histories of Laojungou Granite in the Western Margin of the Central Section Mountain. *Journal of Chengdu College of Geology*, 18(1): 17-22 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353-370. https://doi.org/10.1111/ j.1751-908x.2004.tb00755.x

Yuan, J., Xiao, L., Wan, C.H., et al., 2011. Petrogenesis

of Fangmaping-Sanyanlong Granites in Southern Songpan-Garzê Fold Belt and Its Tectonic Implication. *Acta Geologica Sinica*, 85(2): 195-206 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, H. F., Parrish, R., Zhang, L., et al., 2007. A-Type Granite and Adakitic Magmatism Association in Songpan-Garze Fold Belt, Eastern Tibetan Plateau: Implication for Lithospheric Delamination. *Lithos*, 97(3-4): 323-335. https://doi.org/10.1016/j. lithos.2007.01.002
- Zhang, H. F., Zhang, L., Harris, N., et al., 2006. U-Pb Zircon Ages, Geochemical and Isotopic Compositions of Granitoids in Songpan-Garze Fold Belt, Eastern Tibetan Plateau: Constraints on Petrogenesis and Tectonic Evolution of the Basement. *Contributions to Mineralogy* and Petrology, 152(1): 75-88. https://doi.org/ 10.1007/s00410-006-0095-2
- Zhang, Y.X., Luo, Y.N., Yang, C.X., 1988.Panxi Rift. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhao, Y. J., 2007. Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Implications of Mesozoic Granitoids Intrusions in Eastern Songpan-Garzê (Dissertation). Guangzhou Institute of Geochemistry of Chinese Academy of Sciences, Guangzhou (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y.J., Yuan, C., Zhou, M.F., et al., 2007. Post-Orogenic Extension of Songpan-Garzê Orogen in Early Jurassic: Constraints from Niuxingou Monzodiorite and Siguniangshan A-Type Granite of Western Sichuan, China. *Geochimica*, 36(2): 139-152 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

段志明,李勇,张毅,等,2005.青藏高原唐古拉山中新生代

花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大陆动力学 意义. 地质学报, 79(1):88-97.

- 段志明,张玉修,祝向平,等,2013.松潘一甘孜南部玛孜措 石英闪长岩的地球化学特征、同位素年龄及其构造意 义.地质学报,87(12):1874-1886.
- 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等, 2005. 松潘一甘孜地体内花岗 岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义. 岩石学报, 21(3): 867-880.
- 赖绍聪,赵少伟,2015. 川西北塔公石英闪长岩地球化学特 征和岩石成因. 地球科学与环境学报,37(3):1-13.
- 栗朋,裴先治,李瑞保,等,2019.扬子板块西北缘大安花岗岩 体锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其地质意义.地 球科学,44(4):1338-1356.
- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等,2009.中国大地构造单元划 分.中国地质,36(1):1-28.
- 时章亮,张宏飞,蔡宏明,2009. 松潘造山带马尔康强过铝质花岗岩的成因及其构造意义. 地球科学,34(4): 569-584.
- 万传辉,袁静,李芬香,等,2011. 松潘一甘孜造山带南段晚 三叠世兰尼巴和羊房沟花岗岩岩石学、地球化学特征 及成因.岩石矿物学杂志,30(2):185-198.
- 袁海华,张志兰,张平,1991.龙门山老君沟花岗岩的隆升 及冷却史.成都地质学院学报,18(1):17-22.
- 袁静,肖龙,万传辉,等,2011.松潘一甘孜南部放马坪一三 岩龙花岗岩的成因及其构造意义.地质学报,85(2): 195-206.
- 张云湘,骆耀南,杨崇喜,1988.攀西裂谷.北京:地质出版社.
- 赵永久,2007.松潘一甘孜东部中生代中酸性侵入体的地球 化学特征、岩石成因及构造意义(博士学位论文).广 州:中国科学院广州地球化学研究所.
- 赵永久,袁超,周美夫,等,2007.松潘甘孜造山带早侏罗世 的后造山伸展:来自川西牛心沟和四姑娘山岩体的地 球化学制约.地球化学,36(2):139-152.