

滇西地区临沧花岗岩成因及地质意义

陈开煌

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年11月11日; 录用日期: 2024年12月6日; 发布日期: 2024年12月13日

摘要

三江地区临沧花岗岩基是研究古特提斯洋俯冲和闭合的关键所在, 然而其岩浆成因和构造属性一直存在较大的争议, 严重制约了我们对古特提斯洋与保山地块和思茅地块构造耦合关系的认识。本文对临沧花岗岩基的总体侵位时代、构造背景及侵位驱动机制进行了讨论。在上述基础上提出临沧晚三叠世花岗岩形成于思茅地块与保山地块的后碰撞伸展阶段, 板片断离是这一岩浆活动的驱动机制, 为古特提斯洋闭合时间提供了新的约束。

关键词

古特提斯洋, 三江地区, 板片断离, 临沧花岗岩基, 晚三叠世

Genesis and Geological Significance of Lincang Granite in Western Yunnan

Kaihuang Chen

College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Nov. 11th, 2024; accepted: Dec. 6th, 2024; published: Dec. 13th, 2024

Abstract

The Lincang granite foundation in Sanjiang area is the key to the study of the subduction and closure of the ancient Tethys Ocean. However, its magmatic origin and tectonic properties have been greatly disputed, which seriously restricts our understanding of the structural coupling relationship between the Ancient Tethys Ocean and the Baoshan Block and the Simao Block. This paper discusses the overall emplacement age, tectonic setting and emplacement driving mechanism of Lincang granite base. On the basis of the above, it is proposed that the Late Triassic granite in Lincang was formed in the post-collision extension stage of Simao Block and Baoshan Block, and the Slab break-off is the driving mechanism of this magmatic activity, which provides a new constraint for the closing time of the

ancient Tethys Ocean.

Keywords

Ancient Tethys Ocean, Sanjiang Area, Plate Fragment Separated, Lincang Granite Base, The Late Triassic

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

临沧花岗岩基夹持于保山地块与思茅地块之间(见图 1)。地壳物质部分熔融和花岗质岩浆的生成涉及不同程度的壳幔相互作用,这个过程需要热量、熔体和流体参与其中[1]。因此根据花岗岩的地球化学特征可判别花岗质岩浆的岩浆源区、形成环境,进而揭示其形成的地球动力学背景[2]。近年来,不同的学者先后对临沧花岗岩基的岩浆岩开展了大量的年代学和地球化学的研究工作,现有资料表明临沧花岗岩可分为 I、S、A 型花岗岩,显示它们具有不同的岩浆源区[3]-[5]。年代学数据表明临沧花岗岩的侵位时代跨度较大,从奥陶纪-三叠纪均有花岗岩产出[2];值得注意的是,晚三叠世花岗岩的岩浆活动显示与昌宁-孟连缝合带中高压-超高压变质岩一致的时空分布特征[4][6]。von Blanckenburg and Davies (1995)最早在阿尔卑斯山脉提出板片断离模型,很好地解释了新生代岩浆活动和高压-超高压变质岩折返时代的一致性。由于龙木错-双湖晚三叠世的地质背景与阿尔卑斯山脉相似,众多学者成功用这一模型解释了龙木错-双湖晚三叠世岩浆活动和高压-超高压变质岩的折返历史[7]。结合现有的临沧花岗岩岩石研究进展,准确限定其岩石成因与成岩深部动力学过程,进一步建立其与古特提斯洋板片断离之间的成因联系,无疑对认识古特提斯洋的形成演化史具有重要的指示意义。

2. 晚三叠世构造背景

特提斯的演化主要有三个演化阶段:原特提斯(Proto Tethys)、古特提斯(Paleo Tethys)和新特提斯(Neo Tethys)。前人根据昌宁-孟连缝合带发现的早古生代蛇绿岩与退变质榴辉岩以及晚古生代连续沉积记录,认为昌宁-孟连缝合带经历了原-古特提斯连续演化[8][9]。古特提斯洋南部的主洋盆为昌宁-孟连洋,由于闭合而引发滇缅泰马地块与印支地块发生碰撞[10]。然而对于古特提斯洋与保山地块和思茅地块构造耦合关系的认识,至今仍存在争议[4][10]。

本文搜集了滇西地区晚三叠世岩浆岩资料(表 1),年龄数据表明临沧花岗岩基在晚三叠世爆发了大规模岩浆活动,因此对临沧花岗岩基的深入研究很可能是解释古特提斯洋与保山地块和思茅地块构造耦合关系的关键。同碰撞阶段不可能产生巨大的临沧花岗岩基和同时期的忙怀组火山岩[11],与大型构造热时间结束相匹配的花岗岩总是发生在碰撞后期或碰撞后[12]。晚三叠世忙怀组流纹岩与 A 型花岗岩的构造判别图(图 2)显示它们的地球化学特征与 A2 型花岗岩相似,而 A2 型花岗岩一般形成于造山带后碰撞阶段[7]。晚三叠世小定西组-芒汇河组形成于后碰撞阶段[13]。

古地磁资料显示古特提斯洋在晚三叠世前已经闭合[16]。这一认识与地层学证据一致:区域上普遍缺失早三叠世地层,保山地块东缘出露一套三岔河组(T_3sc),属于磨拉石建造,与下伏地层呈不整合接触关系,与上覆中侏罗统花開左组呈角度不整合接触关系[17]。保山地块东缘的怕拍组(PTp)发育于前陆盆地,是被动大陆边缘(保山地块)在碰撞应力下的响应[10]。赋存于昌宁-孟连缝合带种的上二叠统-中三叠统

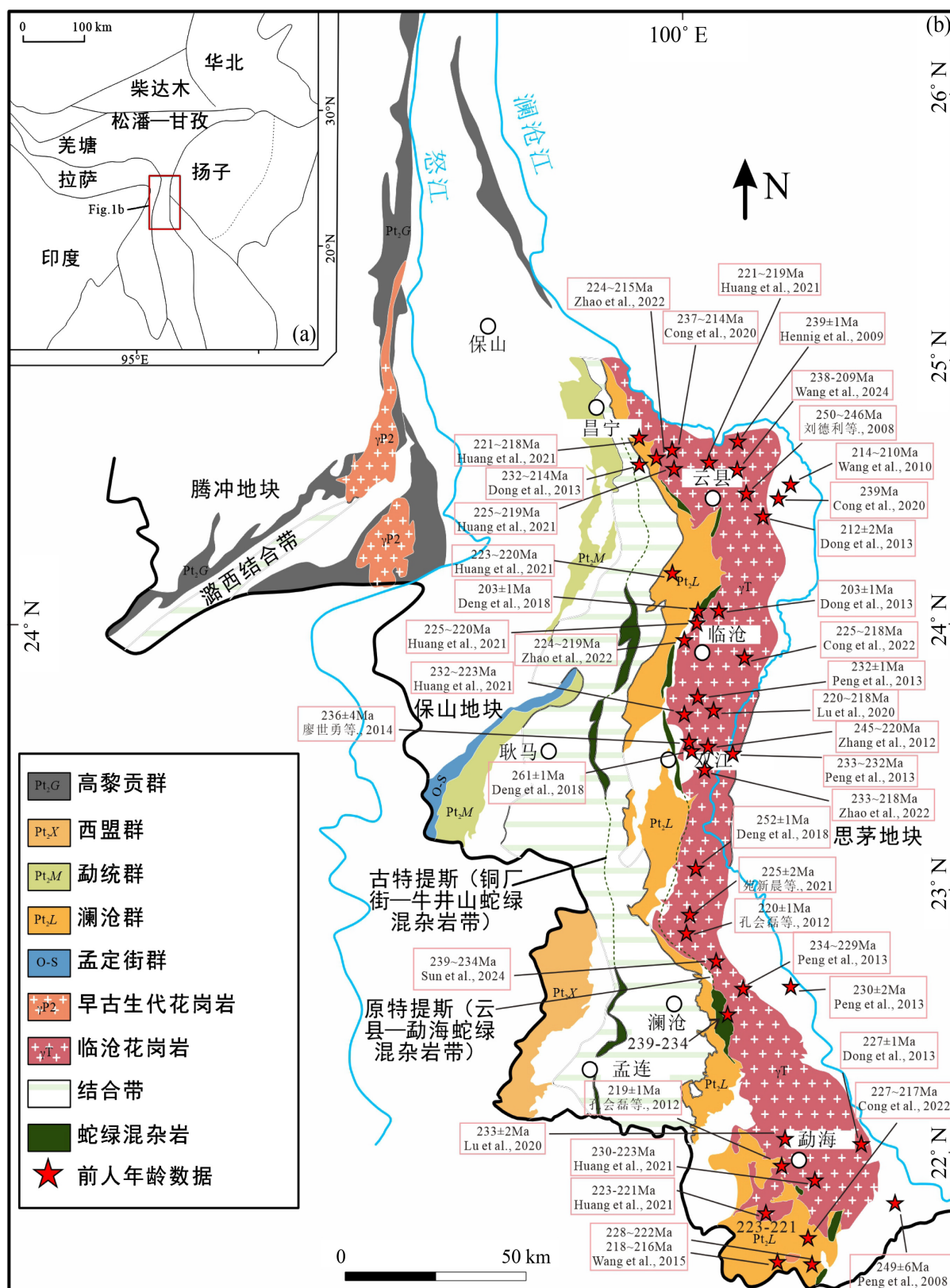
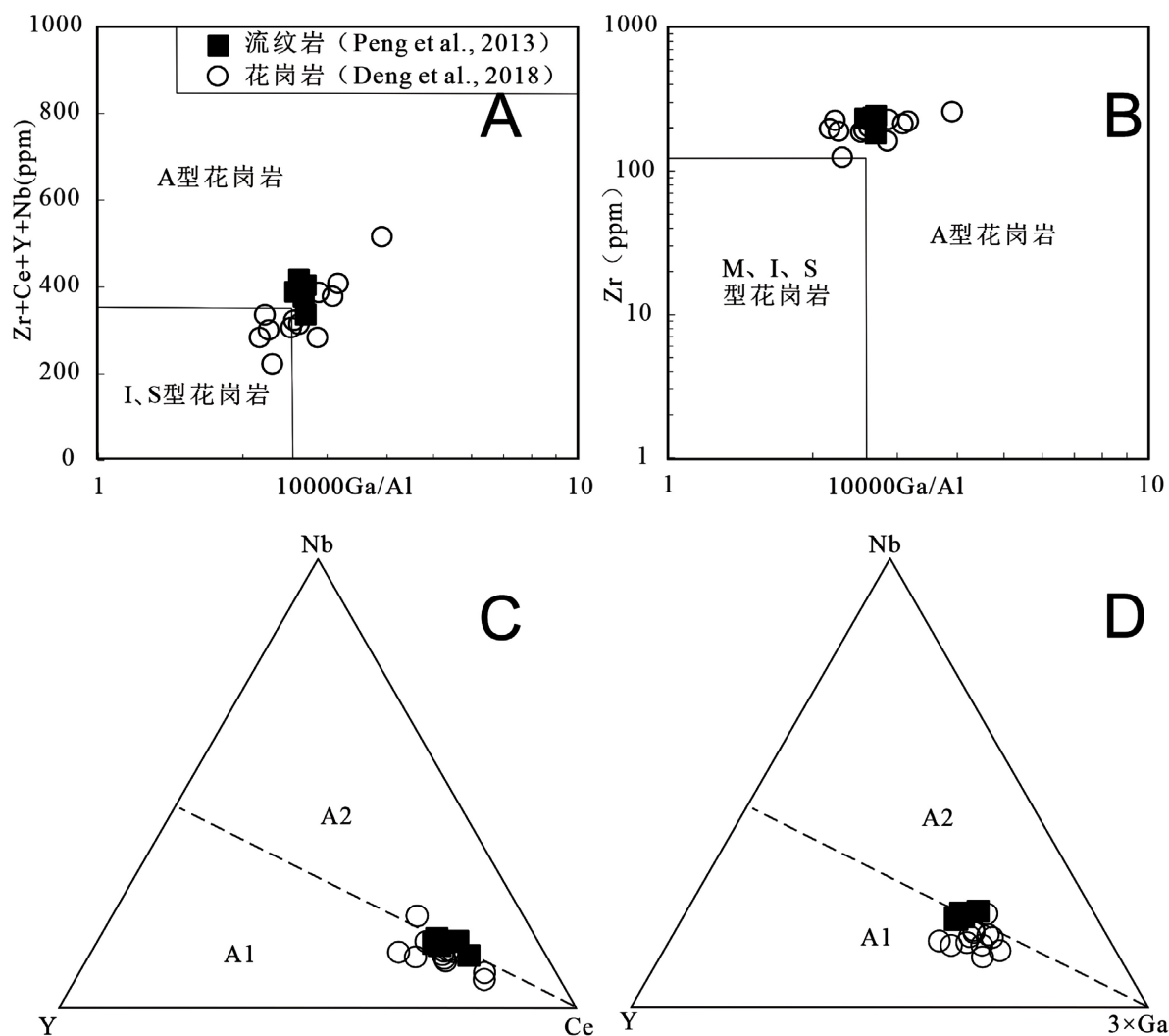


Figure 1. Summary map of Lincang granite base structure belt in the Changning-Menglian junction zone of Tethysi, Sanjiang
图 1. 三江特提斯昌宁—孟连结合带临沧花岗岩基构造带简略图



A-B 据[14]; C-D 据[15]。流纹岩引自[11]; 花岗岩引自[4]。

Figure 2. Identification map of A2-type granite

图 2. A2 型花岗岩判别图

牡音河组(PTm)是目前发现的最老的海相沉积, 被解释为昌宁 - 孟连洋的残余海盆[18]。此外昌宁 - 孟连缝合带中榴辉岩的变质锆石 U-Pb 年龄限定出峰期变质时代为 246~227 Ma [19]。因此, 本文认为在早 - 中三叠世, 保山地块与思茅地块发生同碰撞, 在晚三叠世进入后碰撞伸展阶段。

3. 晚三叠世岩浆岩侵位动力学机制

von Blanckenburg and Davies (1995)认为板片断离往往伴随区域变质作用、双峰岩浆岩、快速折返并抬升的高压 - 超高压变质岩和地壳伸展。昌宁 - 孟连缝合带内勐库地区的高压 - 超产物高压变质岩带是区域变质作用的。缝合带内分别识别出大陆和大洋成因的退变质榴辉岩(240~225 Ma), 两者具有相似的 P-T-t 轨迹, 表明这些高压 - 超高压岩石在保山地块与思茅地块碰撞之后折返[6]。变质岩中存在大陆组分表明大陆岩石圈在俯冲的古特提斯洋岩石圈的牵引下经历了深俯冲, 而大陆的深部俯冲被认为是板块断离的必要条件[20]。俯冲的大洋岩石圈发生断离后会形成板片窗, 软流圈地幔物质将会沿板片窗上涌并加热上覆的岩石圈地幔使其发生部分熔融进而产生幔源玄武质岩浆, 随后上涌底侵至上地壳并促使上地壳

Table 1. Summary of ages of Lincang granite base and eastern volcanic rocks**表 1.** 临沧花岗岩基和东部火山岩年龄汇总

采样位置	岩性	测试矿物	分析方法	年龄	参考文献
临沧	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	261 ± 1	Deng <i>et al.</i> , 2018
临沧	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	252 ± 1	Deng <i>et al.</i> , 2018
临沧	花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	203 ± 1	Deng <i>et al.</i> , 2018
大河	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	217 ± 3	Cong <i>et al.</i> , 2020
大河	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	214 ± 3	Cong <i>et al.</i> , 2020
大河	闪长质包体	锆石	LA-ICP-MS	237 ± 1	Cong <i>et al.</i> , 2020
大河	黑云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	237 ± 2	Cong <i>et al.</i> , 2020
凤庆	碱长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	221 ± 1	Cong <i>et al.</i> , 2020
云县	流纹岩	锆石	LA-ICP-MS	239 ± 1	Cong <i>et al.</i> , 2020
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	230 ± 4	Huang <i>et al.</i> , 2021
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	226 ± 4	Huang <i>et al.</i> , 2021
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 4	Huang <i>et al.</i> , 2021
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 3	Huang <i>et al.</i> , 2021
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	222 ± 3	Huang <i>et al.</i> , 2021
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 4	Huang <i>et al.</i> , 2021
勐海	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	221 ± 4	Huang <i>et al.</i> , 2021
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 4	Huang <i>et al.</i> , 2021
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	232 ± 3	Huang <i>et al.</i> , 2021
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	225 ± 3	Huang <i>et al.</i> , 2021
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	220 ± 2	Huang <i>et al.</i> , 2021
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 2	Huang <i>et al.</i> , 2021
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	220 ± 2	Huang <i>et al.</i> , 2021
云县	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	219 ± 2	Huang <i>et al.</i> , 2021
云县	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	221 ± 2	Huang <i>et al.</i> , 2021
云县	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	219 ± 2	Huang <i>et al.</i> , 2021
云县	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	225 ± 5	Huang <i>et al.</i> , 2021
凤庆	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	221 ± 1	Huang <i>et al.</i> , 2021
凤庆	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	218 ± 3	Huang <i>et al.</i> , 2021
云县	黑云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	239 ± 1	Hennig <i>et al.</i> , 2009
云县	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	212 ± 2	Dong <i>et al.</i> , 2013
云县	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	214 ± 2	Dong <i>et al.</i> , 2013
云县	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	232 ± 1	Dong <i>et al.</i> , 2013

续表

临沧	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	203 ± 1	Dong <i>et al.</i> , 2013
景洪	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	227 ± 1	Dong <i>et al.</i> , 2013
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	232 ± 1	Peng <i>et al.</i> , 2013
双江	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	233 ± 3	Peng <i>et al.</i> , 2013
双江	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	232 ± 2	Peng <i>et al.</i> , 2013
双江	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	234 ± 1	Peng <i>et al.</i> , 2013
双江	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	229 ± 3	Peng <i>et al.</i> , 2013
忙怀组	流纹岩	锆石	LA-ICP-MS	230 ± 2	Peng <i>et al.</i> , 2013
勐宋	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	228 ± 2	Wang <i>et al.</i> , 2015
勐宋	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	222 ± 1	Wang <i>et al.</i> , 2015
布朗山	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	216 ± 1	Wang <i>et al.</i> , 2015
布朗山	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	218 ± 1	Wang <i>et al.</i> , 2015
忙怀组	安山岩	锆石	LA-ICP-MS	249 ± 6	Peng <i>et al.</i> , 2008
芒汇河组	安山岩	锆石	SHRIMP U-Pb	210 ± 22	Wang <i>et al.</i> , 2010
小定西组	玄武安山岩	锆石	SHRIMP U-Pb	214 ± 7	Wang <i>et al.</i> , 2010
临沧	黑云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	220 ± 1	Wang <i>et al.</i> , 2010
临沧	黑云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	218 ± 2	Lu <i>et al.</i> , 2020
勐海	黑云母花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	233 ± 2	Lu <i>et al.</i> , 2020
凤庆	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	224 ± 2	Zhao <i>et al.</i> , 2022
云县	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	215 ± 1	Zhao <i>et al.</i> , 2022
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	219 ± 2	Zhao <i>et al.</i> , 2022
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	224 ± 4	Zhao <i>et al.</i> , 2022
勐库	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	218 ± 2	Zhao <i>et al.</i> , 2022
双江	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	233 ± 1	Zhao <i>et al.</i> , 2022
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	234 ± 5	Sun <i>et al.</i> , 2024
临沧	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	239 ± 5	Sun <i>et al.</i> , 2024
勐宋	二云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	227 ± 2	Cong <i>et al.</i> , 2022
勐宋	二云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	217 ± 1	Cong <i>et al.</i> , 2022
临沧	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	225 ± 1	Cong <i>et al.</i> , 2022
临沧	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	218 ± 1	Cong <i>et al.</i> , 2022
勐库	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	245	Zhang <i>et al.</i> , 2012
勐库	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	220	Zhang <i>et al.</i> , 2012
凤庆	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	238 ± 3	Wang <i>et al.</i> , 2023
凤庆	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	223 ± 3	Wang <i>et al.</i> , 2023

续表

凤庆	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	219 ± 1	Wang <i>et al.</i> , 2023
凤庆	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	217 ± 3	Wang <i>et al.</i> , 2023
凤庆	正长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	209 ± 2	Wang <i>et al.</i> , 2023
凤庆	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	219 ± 4	Wang <i>et al.</i> , 2023
双江	二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	225 ± 2	苑新晨等, 2021
勐库	碱长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	236 ± 4	廖世勇等, 2014
云县	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	246	刘德利等, 2008
云县	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	250	刘德利等, 2008
临沧	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	220 ± 1	孔会磊等, 2012
勐海	黑云母二长花岗岩	锆石	LA-ICP-MS	219 ± 1	孔会磊等, 2012

部分熔融产生酸性岩浆，最终形成双峰岩浆岩[21] [22]。三叠纪火山岩带中发现双峰岩浆岩 - 小定西组(基性岩)和忙怀组(酸性岩)很可能是分别是上覆于板片窗之上的岩石圈地幔以及由此进一步诱发地壳伸展、发生部分熔融的产物[11]。在板片断离发生过程中，大陆岩石圈由于高浮力向上抬升有利于高压 - 超高压变质岩的折返[20]。因此岩浆作用的发生时间与高压 - 超高压变质岩的折返年代的一致性被认为是后碰撞板片断离的关键特征[22]。前人研究表明，240~225 Ma 期间，区域上同时经历了大范围的岩浆活动和高压 - 超高压变质岩的快速折返[4] [6] [23]。幔源玄武质岩浆底侵造成上覆的岩石圈地幔重熔的同时，必然伴随着不同源区的岩浆混合作用，这同样得到临沧花岗岩基晚三叠世不同源区花岗岩以及与岩浆混合作用相关的暗色包体的支持[24] [25]。

4. 结论

- 1) 临沧花岗岩基总体侵位于晚三叠世。
- 2) 临沧花岗岩基形成于思茅地块与保山地块的后碰撞伸展环境，这一岩浆作用受板片断离机制驱动。
- 3) 本文限定了古特提斯洋的闭合时限，古特提斯洋于晚三叠世早期之前完成闭合。

参考文献

[1] Brown, M. (2013) Granite: From Genesis to Emplacement. *Geological Society of America Bulletin*, **125**, 1079-1113. <https://doi.org/10.1130/b30877.1>

[2] 肖倩茹. 滇西临沧花岗岩时空格架与岩石序列及成因[D]: [博士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2019.

[3] Hennig, D., Lehmann, B., Frei, D., Belyatsky, B., Zhao, X.F., Cabral, A.R., *et al.* (2009) Early Permian Seafloor to Continental Arc Magmatism in the Eastern Paleo-Tethys: U-Pb Age and Nd-Sr Isotope Data from the Southern Lancangjiang Zone, Yunnan, China. *Lithos*, **113**, 408-422. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.031>

[4] Deng, J., Wang, C., Zi, J., Xia, R. and Li, Q. (2018) Constraining Subduction-Collision Processes of the Paleo-Tethys along the Changning-Menglian Suture: New Zircon U-Pb Ages and Sr-Nd-Pb-Hf-O Isotopes of the Lincang Batholith. *Gondwana Research*, **62**, 75-92. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.10.008>

[5] Wang, C., Li, G., Liu, Z., Liu, J., Xu, Z. and Li, W. (2024) Spatio-Temporal Variations of Late Triassic Granitic Magmatism in the Lincang Batholith and Implications for Post-Collisional Process along the Paleo-Tethys Suture in SW China. *International Geology Review*, **66**, 3141-3161. <https://doi.org/10.1080/00206814.2024.2318738>

[6] Wang, H., Liu, F., Li, J., Sun, Z., Ji, L., Tian, Z., *et al.* (2018) Petrology, Geochemistry and *p-t-t* Path of Lawsonite-bearing Retrograded Eclogites in the Changning-Menglian Orogenic Belt, Southeast Tibetan Plateau. *Journal of Metamorphic Geology*, **37**, 439-478. <https://doi.org/10.1111/jmg.12462>

- [7] Wu, H., Li, C., Chen, J. and Xie, C. (2015) Late Triassic Tectonic Framework and Evolution of Central Qiangtang, Tibet, SW China. *Lithosphere*, **8**, 141-149. <https://doi.org/10.1130/1468.1>
- [8] 丁林, 钟大赉. 滇西昌宁-孟连带古特提斯洋硅质岩稀土元素和铈异常特征[J]. 中国科学(B 辑·化学·生命科学·地学), 1995(1): 93-100.
- [9] 王保弟, 王立全, 王冬兵, 等. 三江昌宁-孟连带原-古特提斯构造演化[J]. 地球科学, 2018, 43(8): 2527-2550.
- [10] 甘正勤. 昌宁-孟连带提斯洋演化研究——来自地层学和沉积学约束[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2023.
- [11] Peng, T., Wilde, S.A., Wang, Y., Fan, W. and Peng, B. (2013) Mid-Triassic Felsic Igneous Rocks from the Southern Lancangjiang Zone, SW China: Petrogenesis and Implications for the Evolution of Paleo-Tethys. *Lithos*, **168**, 15-32. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.015>
- [12] 苑新晨, 杨启军, 吕勇, 潘明, 高爱洋, 徐放. 滇西昌宁-孟连古特提斯闭合的岩浆活动响应——来自临沧岩体南段花岗岩的地质地球化学证据[J]. 地质通报, 2021, 40(1): 125-137.
- [13] 范蔚茗, 彭天平, 王岳军. 滇西古特提斯俯冲-碰撞过程的岩浆作用记录[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 291-302.
- [14] Whalen, J.B., Currie, K.L. and Chappell, B.W. (1987) A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**, 407-419. <https://doi.org/10.1007/bf00402202>
- [15] Eby, G.N. (1992) Chemical Subdivision of the A-Type Granitoids: Petrogenetic and Tectonic Implications. *Geology*, **20**, 641-644. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0641:csotat>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0641:csotat>2.3.co;2)
- [16] Huang, K. and Opdyke, N.D. (2016) Paleomagnetism of the Upper Triassic Rocks from South of the Ailaoshan Suture and the Timing of the Amalgamation between the South China and the Indochina Blocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, **119**, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.12.005>
- [17] 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等. 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·化学·生命科学·地学), 1993(11): 1201-1207.
- [18] 方念乔, 刘本培, 冯庆来. 滇西南牡音河组的沉积特征、环境意义及与之相关的若干地质问题[J]. 地球科学, 1996(1): 14-21+117.
- [19] 王慧宁. 昌宁-孟连造山带榴辉岩、蓝片岩和变沉积岩的岩石学、变质演化及其对古特提斯洋-陆俯冲造山的制约[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2020.
- [20] Wu, H., Liu, X., Chen, J., Li, C., Yang, R. and Jiang, Z. (2023) Tectono-Magmatic Response to the Geometric Evolution of Slab Breakoff in the Paleo-Tethys Ocean: Constraints from Late Triassic Granites in the Qiangtang Block, Northern Tibet. *GSA Bulletin*, **136**, 447-460. <https://doi.org/10.1130/b36456.1>
- [21] van den Beukel, J. (1992) Some Thermomechanical Aspects of the Subduction of Continental Lithosphere. *Tectonics*, **11**, 316-329. <https://doi.org/10.1029/91tc01039>
- [22] Von Blanckenburg, F. and Davies, J.H. (1995) Slab Breakoff: A Model for Syncollisional Magmatism and Tectonics in the Alps. *Tectonics*, **14**, 120-131. <https://doi.org/10.1029/94tc02051>
- [23] Huang, X., Dou, J., Wu, G., He, J., Siebel, W. and Chen, F. (2021) Source Rocks Control the Geochemical Diversity of Granite: The Lincang Pluton in the Western Yunnan Tethyan Belt, SW China. *Lithos*, **382-383**, Article ID: 105950. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105950>
- [24] 曾文涛, 孙载波, 周坤, 等. 滇西双江县勐库地区临沧花岗岩中暗色包体锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2018, 38(1): 23-36.
- [25] Zhao, F., Li, G., Wang, Q. and Xue, S. (2021) Discovery of Multi-Crustal Rejuvenations for the Formation of the Lincang Granitic Batholith, Southwest China: Magmatism Relating to Changning-Menglian Paleo-Tethyan Termination. *International Geology Review*, **64**, 970-986. <https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1897888>