

怒江、澜沧江、金沙江断裂带北段第四纪活动特征

赵彦博¹, 李振江^{2,3*}, 李高保¹, 孙 勇^{2,3}, 宋 伟^{2,3}, 蔡永丰¹

¹桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

²四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 四川 成都

³四川省容大矿业集团有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2024年11月21日; 录用日期: 2024年12月24日; 发布日期: 2024年12月31日

摘 要

断裂的第四纪活动性是重大工程建设项目评价的一个重要因素, 川藏铁路成雅段和拉林段已建成通车, 雅林段仍在规划建设中。为雅林段的规划建设和安全运营提供依据, 本文综合相关重要文献资料, 对雅林段穿越的怒江、澜沧江和金沙江三大断裂带的活动性进行了总结。结果显示, 怒江断裂带中的边坝-洛隆断裂和邦达断裂为全新世活动断裂。澜沧江断裂带北段的昌都段为全新世活动断裂, 芒康段为早-中更新世活动断裂, 局部存在全新世活动迹象; 南段为早-中更新世活动断裂。金沙江断裂带中段晚第四纪活动显著, 局部具有晚更新世-全新世活动性; 南段目前没有发现第四纪活动迹象。

关键词

断裂活动性, 三江断裂带, 第四纪, 川藏铁路

Quaternary Activity of the Northern Part of Nujiang, Lancangjiang and Jinshajiang Fault Zones

Yanbo Zhao¹, Zhenjiang Li^{2,3*}, Gaobao Li¹, Yong Sun^{2,3}, Wei Song^{2,3}, Yongfeng Cai¹

¹College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Sichuan Geology and Mineral Bureau Regional Geological Survey Team, Chengdu Sichuan

³Sichuan Rongda Mining Co., LTD., Chengdu Sichuan

Received: Nov. 21st, 2024; accepted: Dec. 24th, 2024; published: Dec. 31st, 2024

*通讯作者。

文章引用: 赵彦博, 李振江, 李高保, 孙勇, 宋伟, 蔡永丰. 怒江、澜沧江、金沙江断裂带北段第四纪活动特征[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(12): 1570-1577. DOI: 10.12677/ag.2024.1412147

Abstract

Quaternary activity of fault is an important factor for large construction projects. The Cheng-Ya and La-Lin parts of the Sichuan-Tibet railway have been completed, but the Ya-Lin part is still in planning and construction. In order to provide evidence for planning, construction and operation of the Ya-Lin railway, quaternary activity of the northern part of Nujiang, Lancangjiang and Jinshajiang fault zones was summarized according to the available important references. It is suggested that the Bianba-Luolong and Banda faults in the Nujiang fault zone are activity holocene faults. The Changdu part of the north Lancangjiang fault zone shows holocene activity, and the Mangkang part shows that early-middle pleistocene activity with a few has holocene activity. The south Lancangjiang fault zone shows early-middle pleistocene activity. The middle Jinshajiang fault zone shows obvious late quaternary activity with a few shows late pleistocene-holocene activity. The south Jinshajiang fault zone has shown no obvious quaternary activity so far.

Keywords

Fault Activity, Sanjiang Fault Zone, Quaternary, Sichuan-Tibet Railway

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

川藏铁路是我国规划设计的重大工程,自四川成都,向西经雅安、林芝等地直至拉萨,分成雅段(成都-雅安)、雅林段(雅安-林芝)和拉林段(拉萨-林芝)三段建设(图 1),全长约 1543 km,该铁路的建设对促进我国西部特别是西藏的发展具有重要意义。目前成雅段和拉林段已建成通车,雅林段仍在规划建设中。川藏铁路要横穿高山峡谷纵横的青藏高原东南部,跨越 14 条大江大河,穿越 21 座 4 千米以上的高山,高地应力、膨胀岩(土)、冻土、冰碛层、雪崩、冰川等工程地质问题异常突出。加之青藏高原东南部受新生代时期印度板块与欧亚板块碰撞的强烈影响[1]-[3],沿线断裂活动频繁,地震多发,崩滑流等地质灾害频繁且规模大、危险性高,因而其建设难度极大。断裂的活动性是重大工程建设项目必须考虑的

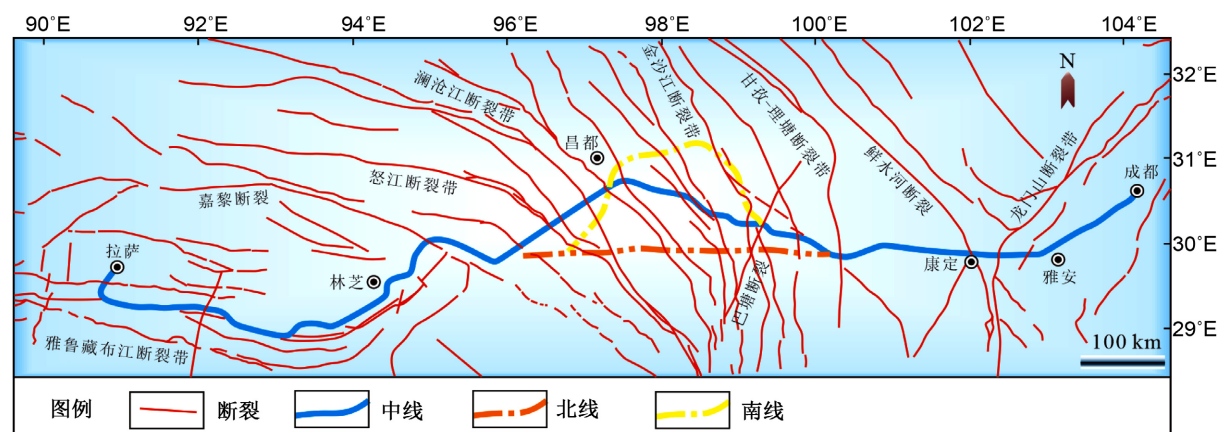


Figure 1. Planning line and distribution of the major fault along the Sichuan-Tibet railway

图 1. 川藏铁路规划路线及沿线主要断裂分布图(底图来自川藏铁路研究院)

重要安全因素[4]-[6],特别是川藏铁路沿线发育十多条活动断裂,断裂的活动会诱发地震,破坏工程建筑,引发崩滑流等地质灾害。因此,为了保障川藏铁路特别是仍在规划建设中的雅林段的安全建设、管理和运营,本文综合现有的相关重要文献资料,对雅林段穿越的怒江、澜沧江和金沙江三大断裂带的活动性进行了总结。

2. 地质背景

青藏高原是新生代时期(~55 Ma)印度板块与欧亚板块发生强烈碰撞拼贴并持续挤压、隆升而形成[7]-[11],在这一过程中,深部物质不断迁移、流动,地壳持续增厚,形成了世界上地壳最厚、地势最高、面积最广的高原,同时还伴随着强烈的构造变形和地震活动[12][13]。青藏高原发育大量具有走滑和逆冲等不同性质的活动断裂,如阿尔金断裂、实皆断裂等(图 2),它们控制着地壳深部地震的性质[7][14],7 级以上地震主要分布在千米以上的巨型活动断裂带上(如 2008 年汶川地震)[15],6~6.9 级地震多分布在十至百千米的晚第四纪活动断裂带上(如 2020 年尼玛地震)[16][17]。青藏高原由多个地块和夹于其中的缝合带构成,自北东向西南主要有祁连山地块、祁连山缝合带、昆仑-柴达木地块、昆仑缝合带、巴颜喀拉-松潘-甘孜地块、金沙江缝合带、羌塘地块、班公湖-怒江缝合带、拉萨地块、印度-雅鲁藏布江缝合带和喜马拉雅地块(图 2)。

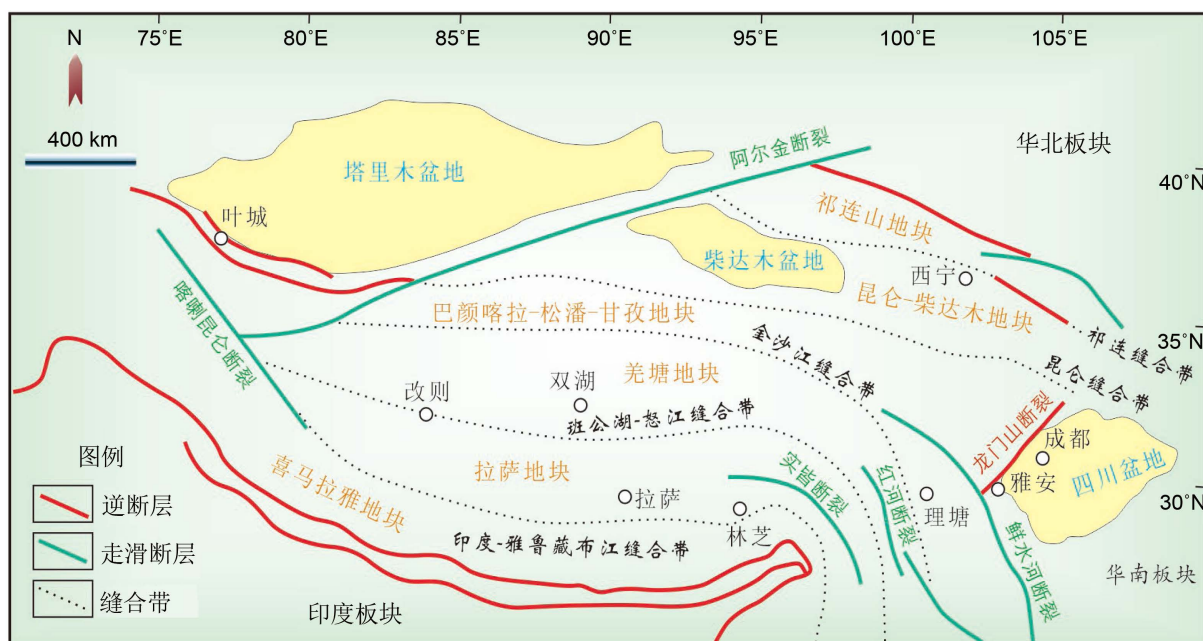


Figure 2. Schematic map of the major tectonic zoning of the Qinghai-Xizang Plateau (modified from [18])

图 2. 青藏高原构造分区简图(改编自[18])

横穿怒江、澜沧江和金沙江三大断裂带(简称“三江断裂带”)的川藏铁路雅林段位于青藏高原东南部,主要穿越了巴颜喀拉-松潘-甘孜地块、金沙江缝合带、羌塘地块、班公湖-怒江缝合带和拉萨地块的东段(图 2)。其中,巴颜喀拉-松潘-甘孜地块分布有巨厚层的三叠系巴颜喀拉山群复理石沉积建造,其次为震旦纪-古生代地层,少量前寒武纪结晶基底出露于龙门山断裂带附近[19]。该地块是我国陆内最大的一个构造结[20],其形成及演化与羌塘地块、华北板块和扬子板块间的俯冲碰撞、持续挤压密切相关[19]。金沙江缝合带保存有晚古生代-早中生代蛇绿混杂岩,向南延伸可与哀牢山缝合带相接,记录了古特提斯洋盆的打开、扩张、俯冲、碰撞等多个地质过程,被认为是古特提斯洋的支洋盆[21][22]。羌塘地

块可进一步分为北羌塘地块和南羌塘地块,其界线为双湖-龙木错缝合带[23]。羌塘地块内分布的地层主要为上古生界和中生界,前者以碳酸盐岩、碎屑岩夹基性火山岩的复理石沉积建造为主,主要见于羌塘地块西部;后者以侏罗系和三叠系为主,其中侏罗系广泛分布于整个地块,三叠系主要见于地块东南部,少量分布于地块中部和西部[24]。班公湖-怒江缝合带分布有较大规模的蛇绿混杂岩,延伸长度约 2000 km,代表了新特提斯洋北支俯冲拼贴的地质遗迹[25]。该缝合带主要出露三叠纪、侏罗纪和白垩纪地层及相关侵入岩和火山岩[24]。拉萨地块被划分为三部分:北拉萨地块、中拉萨地块和南拉萨地块,它们的界线依次为洛巴堆-米拉山断裂带和狮泉河-纳木错蛇绿混杂岩带[26]。北拉萨地块主要由上侏罗系和下白垩系组成,夹杂有较大规模的早白垩世岩浆岩[27];中拉萨地块发育前寒武纪结晶基底[28],盖层主要为石炭纪-二叠纪变质沉积岩系和白垩纪-侏罗纪火山沉积序列[24][28];南拉萨地块以中生代-古近纪侵入岩和火山岩为主[24][29]。

3. 三江断裂带活动性

3.1. 怒江断裂带

怒江断裂带主要由边坝-洛隆断裂、邦达断裂、羊达-亚许断裂和怒江断裂等构成[6][30],川藏铁路雅林段横跨边坝-洛隆断裂和邦达断裂。边坝-洛隆断裂自边坝西侧,向东南进入洛隆、腊久一带,呈北西向展布,在八宿附近转为近南北向展布,曾于 1642~1654 年发生过洛隆 $M \geq 7$ 强地震[31][32]。该断裂为全新世活动断裂,以左旋走滑运动为主,水平滑动速率大约是 $1 \sim 1.7 \text{ mm/yr}$ [33]。主要地质证据有:在洛隆和八宿县城附近发现多个断错晚更新世-全新世地层的地质剖面;年代学分析结果显示,最近一次活动事件发生在 $(3310 \pm 30) \text{ a BP}$ 之后[32]。

邦达断裂是班公湖-怒江缝合带东段的边界,其独特的大地构造位置,导致该区域断裂活动频繁,地震频发。该断裂表现出强烈的挤压变形特征,以脆性变形为主,兼具韧性变形,整体以右行走滑运动为主[34]。

前人对邦达断裂北段洪积扇、冲洪积台地及河流阶地分布的断层带粉砂样和砾石层的光释光(OSL)测年结果显示,断裂停止活动的时间不早于 $42.3 \pm 2.5 \text{ ka}$ ~ $41.3 \pm 4.0 \text{ ka}$,断错活动的时间终止于 $13.8 \pm 0.9 \text{ ka}$ ~ $17.8 \pm 0.5 \text{ ka}$ [35],据此提出邦达断裂北段是一条晚第四纪(全新世)活动断裂。邦达断裂中段亦为晚第四纪(全新世)活动断裂,其活动时间不晚于 $(1457 \pm 51) \text{ a BP}$ [36]。此外,邦达断裂在遥感影像上线性构造明显,在多庆-甲冲一带发育多个断错全新世地层的地质剖面。整体看来,邦达断裂为全新世活动断裂[33]。

3.2. 澜沧江断裂带

澜沧江断裂带总体呈 NNW 向沿澜沧江河谷展布,延伸长度约 1600 km,该断裂带以梅里雪山为界进一步被划分为南北两段。由于澜沧江断裂带地形地貌复杂,其晚第四纪活动性形迹不清,目前的研究认为澜沧江断裂带北段的昌都段具有全新世活动迹象,以左旋走滑为主,滑动速率约 1.5 mm/a ;芒康段具有早-中更新世($Q_1 \sim Q_2$)活动性,其断层内电子自旋共振(ESR)测年为 (14.81 ± 1.27) 万年;局部存在全新世活动迹象[37]。整体看来,澜沧江断裂带北段垂直滑动速率和左旋滑动速率分别约为 $3.5 + 1.1/-0.8 \text{ mm/yr}$ 和 $1.6 + 0.4/-0.3 \text{ mm/yr}$ [38]。澜沧江断裂带南段经历了新生代晚期的强烈变形,曾发生过多地地震[38]-[40],具有早-中更新世($Q_1 \sim Q_2$)活动性[31][40],也有研究认为澜沧江断裂带南段的活动性具有分段性,整体为中等,其中,小湾-漫湾一带活动性较高,漫湾-那招、那招-谦六、糯扎渡-勐往和景洪一带的活动性为中等[41]。值得注意的是,澜沧江断裂带南段附近发育全新世活动断裂——南汀河断裂,南汀河断裂曾发生过 7 级地震(1941 年耿马大寨地震) [39][40],因而南汀河断裂的活动性对澜沧江断裂带南段产生的影响需要引起重视。

3.3. 金沙江断裂带

金沙江断裂带总体呈 SN 走向弧形分布，由多条主干断裂构成，向南延伸最终与红河断裂相交，延伸长度达 700 km [42]。该断裂带被进一步分为北段、中段和南段，它们的界线分别为巴塘断裂和德钦 - 中甸 - 大具断裂。川藏铁路雅林段主要穿越了金沙江断裂带北段，北段自四川甘孜白玉一带，往南延伸进入巴塘一带[43]。

金沙江断裂带北段晚第四纪活动性的研究资料较少，其分支断裂字嘎寺 - 德钦断裂西段、波罗 - 通麦断裂、金沙江主断裂带南段具有晚更新世(Q₃)活动性，其它分支断裂目前没有发现活动性[44]，具体活动时代、性质及滑动速率等参数见表 1。断裂带地表坡度的不同是导致其北段、中段和南段活动性不同的原因之一[45]。

Table 1. Quaternary activity and earthquake/fault resistance parameters in the northern section of the Jinshajiang fault zone
表 1. 金沙江断裂带北段第四纪活动性及抗震/抗断参数表

分支断裂名称	活动时代	活动性质	抗震/抗断参数	资料来源
岗托 - 义敦断裂	Q ₁ ~Q ₂	逆冲	不影响	[44]
金沙江主断裂	Q ₃	走滑	未获得	[44]
波罗 - 通麦断裂	Q ₃	左旋走滑	长期逆冲速率约 0.05 mm/a	[44]
字嘎寺 - 德钦断裂西支马曲河南段	Q ₃	走滑兼逆冲	长期逆冲速率约 0.02 mm/a	[44]
字嘎寺 - 德钦断裂西支马曲河北段	Q ₁ ~Q ₂	走滑兼逆冲	不影响	[44]
字嘎寺 - 德钦断裂东支	Q ₁ ~Q ₂	走滑兼逆冲	不影响	[44]

金沙江断裂带中段晚第四纪活动显著，曾大同断裂、金沙江主断裂为晚更新世 - 全新世活动断裂[46] [47]，其中，曾大同断裂的活动证据见于拿荣、尼中一带的地质剖面，以右旋走滑为主[46]，历史上曾发生过 6.5 级地震(1923 年巴塘地震)；金沙江主断裂的活动证据主要见于亚日贡、中咱、日雨等地区，以强烈的右旋走滑为主，发育明显的断层槽谷，最新一次活动事件发生在(1940 ± 30)~(950 ± 30) a BP，为全新世活动断裂，曾于 1989 年在巴塘县发生 6.7 级地震[48] [49]。

金沙江断裂带南段目前没有发现第四纪活动迹象[50]。南段、中段的界线德钦 - 中甸 - 大具断裂近年来的地质地貌研究结果显示其错断了全新世地层，总体具有右旋走滑特征，并发生了(1140 ± 30)~(1010 ± 30) a BP 地震事件，表明其具有全新世活动性[50]，今后需重视其活动性对金沙江断裂带南段产生的影响。

4. 结语

怒江断裂带中的边坝 - 洛隆断裂为全新世活动断裂，以左旋走滑运动为主；邦达断裂以右行走滑运动为主，活动频繁，地震频发，为全新世活动断裂。澜沧江断裂带北段的昌都段为全新世活动断裂，以左旋走滑为主；芒康段为早 - 中更新世(Q₁~Q₂)活动断裂，局部存在全新世活动迹象；澜沧江断裂带南段具有早 - 中更新世(Q₁~Q₂)活动性。需要重视南汀河断裂的活动性对澜沧江断裂带南段的影响。金沙江断裂带中段晚第四纪活动显著，以右旋走滑为主，局部具有晚更新世 - 全新世活动性；南段目前没有发现第四纪活动迹象。川藏铁路雅林段涉及了上述断裂，建议今后进一步加强上述断裂活动性的研究及其可能产生的影响，以保障相关工程的安全。

致 谢

感谢审稿专家和编辑提出的宝贵意见和建议。

基金项目

本研究受四川省地质矿产勘查开发局“滇藏铁路怒江、澜沧江、金沙江段构造现今活动性预研究”课题资助。

参考文献

- [1] England, P. and Houseman, G. (1986) Finite Strain Calculations of Continental Deformation: 2. Comparison with the India-Asia Collision Zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **91**, 3664-3676. <https://doi.org/10.1029/jb091ib03p03664>
- [2] Avouac, J. and Tapponnier, P. (1993) Kinematic Model of Active Deformation in Central Asia. *Geophysical Research Letters*, **20**, 895-898. <https://doi.org/10.1029/93gl00128>
- [3] 李长军, 王洋, 刘丽军, 等. 青藏高原东南缘岩石圈变形特征及其深部动力学过程[J]. 中国科学: 地球科学, 2024(54): 1-26.
- [4] 张永双, 吴瑞安, 郭长宝, 等. 高原山区铁路工程建设地质安全评价: 思路与方法[J]. 地质学报, 2022, 96(5): 1736-1751.
- [5] 徐锡伟, 李峰, 程佳, 等. 活动断层研究进展及其科学前沿问题讨论[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(12): 1-16.
- [6] 张献兵, 于皓, 余潇, 等. 滇藏铁路沿线重要活动断裂带晚第四纪活动性初步研究[J]. 地震科学进展, 2024, 54(1): 94-109.
- [7] Molnar, P. and Tapponnier, P. (1975) Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a Continental Collision: Features of Recent Continental Tectonics in Asia Can Be Interpreted as Results of the India-Eurasia Collision. *Science*, **189**, 419-426. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.419>
- [8] Yin, A. and Harrison, T.M. (2000) Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **28**, 211-280. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.211>
- [9] 张培震, 王伟涛, 甘卫军, 等. 青藏高原的现今构造变形与地球动力过程[J]. 地质学报, 2022, 96(10): 3297-3313.
- [10] Tapponnier, P., Zhiqin, X., Roger, F., Meyer, B., Arnaud, N., Wittlinger, G., et al. (2001) Oblique Stepwise Rise and Growth of the Tibet Plateau. *Science*, **294**, 1671-1677. <https://doi.org/10.1126/science.105978>
- [11] 许志琴, 李海兵, 杨经绥. 造山的高原——青藏高原巨型造山拼贴体和造山类型[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 1-17.
- [12] Bischoff, S.H. and Flesch, L.M. (2018) Normal Faulting and Viscous Buckling in the Tibetan Plateau Induced by a Weak Lower Crust. *Nature Communications*, **9**, Article No. 4952. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07312-9>
- [13] Ding, L., Kapp, P., Cai, F., Garzione, C.N., Xiong, Z., Wang, H., et al. (2022) Timing and Mechanisms of Tibetan Plateau Uplift. *Nature Reviews Earth & Environment*, **3**, 652-667. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00318-4>
- [14] 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2002, 3(12): 1020-1030.
- [15] 李海兵, 付小方, Van Der Wored, J., 等. 汶川地震(MS8.0)地表破裂及其同震右旋斜向逆冲作用[J]. 地质学报, 2008, 82(12): 1623-1643.
- [16] 刘富财, 潘家伟, 李海兵, 等. 青藏高原中部日干配错断裂第四纪活动特征及 2020 年 7 月 23 日西藏尼玛 Mw6.4 地震发震构造分析[J]. 地球学报, 2022, 2(43): 173-188.
- [17] Yang, J., Xu, C., Wen, Y. and Xu, G. (2021) The July 2020 Mw 6.3 Nima Earthquake, Central Tibet: A Shallow Normal-Faulting Event Rupturing in a Stepover Zone. *Seismological Research Letters*, **93**, 45-55. <https://doi.org/10.1785/0220210057>
- [18] Li, Y., Wang, C., Dai, J., Xu, G., Hou, Y. and Li, X. (2015) Propagation of the Deformation and Growth of the Tibetan-Himalayan Orogen: A Review. *Earth-Science Reviews*, **143**, 36-61. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.01.001>
- [19] 马骥, 刘彬, 孙洋. 巴颜喀拉中部三叠纪称多高镁闪长岩的地球化学特征、岩石成因及其构造意义[J]. 矿物岩石, 2020, 40(2): 36-47.
- [20] 张国伟, 郭安林, 姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭-松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 23-32.
- [21] Tang, Y., Qin, Y., Gong, X., Duan, Y., Chen, G., Yao, H., et al. (2020) Discovery of Eclogites in Jinsha River Suture Zone, Gonjo County, Eastern Tibet and Its Restriction on Paleo-Tethyan Evolution. *China Geology*, **3**, 83-103. <https://doi.org/10.31035/cg2020003>
- [22] 杨礼创, 唐渊, 祝向平, 等. 早中三叠世金沙江缝合带碰撞造山过程岩浆作用响应[J]. 沉积与特提斯地质: 1-22. <https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04008>, 2024-12-26.

- [23] 李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 1987(2): 155-166.
- [24] 刘富财. 青藏高原中部北东/北西走向走滑断裂晚第四纪活动性和形成机制研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2024.
- [25] 周高宇, 祁诚雪, 万牧钦, 等. 藏北盐湖地区晚白垩世辉长岩: 对班公湖-怒江缝合带碰撞后拆沉作用的指示[J]. 大地构造与成矿学, 2024, 48(4): 866-878.
- [26] Zhu, D., Zhao, Z., Niu, Y., Dilek, Y., Hou, Z. and Mo, X. (2013) The Origin and Pre-Cenozoic Evolution of the Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, **23**, 1429-1454. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.02.002>
- [27] Wu, H., Li, C., Hu, P. and Li, X. (2014) Early Cretaceous (100-105 Ma) Adakitic Magmatism in the Dachagou Area, Northern Lhasa Terrane, Tibet: Implications for the Bangong-Nujiang Ocean Subduction and Slab Break-Off. *International Geology Review*, **57**, 1172-1188. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.886152>
- [28] 陈澍民, 缪宇, 廖驾, 等. 中拉萨地块南缘孔隆晚白垩世火山岩成因及对地壳演化的约束[J]. 现代地质, 2021, 35(6): 1713-1726.
- [29] Zhao, Z., Mo, X., Dilek, Y., Niu, Y., DePaolo, D.J., Robinson, P., *et al.* (2009) Geochemical and Sr-Nd-Pb-O Isotopic Compositions of the Post-Collisional Ultrapotassic Magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and Implications for India Intra-Continental Subduction beneath Southern Tibet. *Lithos*, **113**, 190-212. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.02.004>
- [30] Xu, W., Zhang, H., Chen, L., Luo, B. and Guo, L. (2022) Early Jurassic High-Temperature Granites along Eastern Bangong-Nujiang Suture in Tibet and Its Geodynamic Implications. *Lithos*, **430**, Article ID: 106847. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106847>
- [31] 张永双, 胡道功, 吴中海, 等. 滇藏铁路沿线地壳稳定性及重大工程地质问题[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [32] 韩明明, 陈立春, 李彦宝, 等. 班公湖-怒江缝合带西界坝坝-洛隆断裂全新世活动的地质地貌证据[J]. 地球科学, 2022, 47(3): 757-765.
- [33] 韩明明. 怒江断裂带邦达段晚第四纪活动性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2022.
- [34] 李萌. 藏东邦达断裂活动性研究及工程意义[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2019.
- [35] 吴中海, 叶培盛, 王成敏, 等. 西藏安多最新史前大地震的地质证据及其年龄[J]. 第四纪研究, 2009, 29(3): 608-615.
- [36] 钟宁, 杨镇, 张献兵, 等. 怒江断裂带邦达断裂中段全新世活动证据及其古地震记录[J]. 地质论评, 2022, 68(6): 2021-2032.
- [37] 石圣. 澜沧江断裂带昌都-盐井段断层活动性研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2021.
- [38] Ren, J., Xu, X., Lv, Y., Wang, Q., Li, A., Li, K., *et al.* (2022) Late Quaternary Slip Rate of the Northern Lancangjiang Fault Zone in Eastern Tibet: Seismic Hazards for the Sichuan-Tibet Railway and Regional Tectonic Implications. *Engineering Geology*, **306**, Article ID: 106748. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106748>
- [39] 毛玉平, 王洋龙, 李朝才. 澜沧江中段水利枢纽工程水库诱发地震的地震地质环境分析[J]. 地震研究, 2004, 27(s1): 63-69.
- [40] 安晓文, 常祖峰, 陈宇军, 等. 云南第四纪活动断裂暨《云南省第四纪活动断裂分布图》[M]. 北京: 地震出版社, 2018: 1-531.
- [41] 孙林龙, 董有浦, 吴中海, 等. 基于河流地貌指数的澜沧江断裂南段构造活动性研究[J]. 地质科学, 2024, 59(6): 1543-1561.
- [42] 周荣军, 陈国星, 李勇, 等. 四川西部理塘-巴塘地区的活动断裂与 1989 年巴塘 6.7 级震群发震构造研究[J]. 地震地质, 2005, 27(1): 31-43.
- [43] 邵慰慰, 杨志华, 吴瑞安, 等. 考虑滑坡活动性的金沙江上游白玉-巴塘段滑坡易发性评价[J]. 地质通报: 1-14. <https://link.cnki.net/urlid/11.4648.p.20240223.1421.003>, 2024-12-26.
- [44] 吴富峣, 蒋良文, 张广泽, 等. 川藏铁路金沙江断裂带北段第四纪活动特征探讨[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(4): 23-28, 43.
- [45] 常玉巧, 陈立春, 张琦. 金沙江断裂带构造地貌与断裂活动特征研究[J]. 国际地震动态, 2019(8): 142-143.
- [46] 常祖峰. 2013 年云南奔子栏 M5.9 地震发生的地震地质背景[J]. 地震地质, 2015, 37(1): 192-207.
- [47] 常昊, 常祖峰, 刘昌伟. 金沙江断裂带活动与大型滑坡群的关系研究: 以金沙江拿荣-绒学段为例[J]. 地震地质, 2021, 43(6): 1435-1458.
- [48] Peng, H., Yang, H., Hu, J. and Badal, J. (2017) Three-Dimensional S-Velocity Structure of the Crust in the Southeast Margin of the Tibetan Plateau and Geodynamic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, **148**, 210-222.

<https://doi.org/10.1016/j.jseas.2017.09.004>

- [49] Jing, Z., Zaisen, J., Yanqiang, W., Xiaoxia, L. and Wenxin, W. (2012) Characteristics of Block Strain and Fault Movement in the Sichuan-Yunnan Region before and after Wenchuan Earthquake. *Geodesy and Geodynamics*, **3**, 27-33.
<https://doi.org/10.3724/sp.j.1246.2012.00027.1>
- [50] 常玉巧, 李西, 周青云, 等. 德钦-中甸断裂北西段全新世地震活动证据[J]. 地震研究, 2023, 46(2): 261-270.