

文章编号:2095-3046(2018)05-0071-08 DOI:10.13265/j.cnki.jxlgdxxb.2018.05.012

金沙江-哀牢山富碱侵入岩带的判别、成因及构造环境

郭小飞^{1,2}, 刘汇川³, 吴开兴^{1,2}, 刘卫明^{1,2}, 张晓兵⁴

(1. 江西理工大学资源与环境工程学院,江西 赣州 341000;2. 江西省矿业工程重点实验室,江西 赣州 341000;
3. 中山大学地球科学与工程学院,广州 510275;
4. 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室,广州 510640)

摘要:印度与欧亚大陆碰撞的构造演化过程和岩浆作用响应一直以来都是地质学研究的热点.伴随该陆陆碰撞事件,青藏高原东缘金沙江-哀牢山富碱侵入岩带发育并记录了其部分碰撞过程,本研究针对该富碱侵入岩带开展了综合分析.金沙江-哀牢山新生代富碱岩浆岩从基性到中酸性岩均有产出,年龄集中在44~31 Ma.富碱岩浆有两种可能的成因:①古洋壳板块和岩石圈地幔部分熔融,②在印度板块俯冲过程中软流圈物质上涌引起加厚大陆下地壳部分熔融.两种成因均说明富碱岩浆是处在区域构造动力体制转换阶段及应力相对松弛的构造背景.金沙江-哀牢山富碱侵入岩与区内剪切走滑断裂系统伴生,可能暗示断裂系统切割深度已达岩石圈地幔.

关键词:印欧碰撞;金沙江-哀牢山构造带;富碱侵入岩;走滑剪切;壳幔作用

中图分类号:P541;P581;P597 **文献标志码:**A

Study on discrimination, genesis and tectonic setting of Jinsha River-Mount Ailao alkaline-rich intrusive rocks

GUO Xiaofei^{1,2}, LIU Huichuan³, WU Kaixing^{1,2}, LIU Weiming^{1,2}, ZHANG Xiaobing⁴

(1. School of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Jiangxi Key Laboratory of Mining Engineering, Ganzhou 341000, China;

3. School of Earth Sciences and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China;

4. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The tectonic processes and magmatism of the Indian-Eurasian collision have always been a hotspot in geographical academia. Along with the continental collision event, the partial collision process has been developed and recorded by the Jinsha River-Mount Ailao alkaline-rich intrusive rocks in tibetan plateau. In this study, we analyzed the intrusive rocks along this belt. The Cenozoic alkaline-rich magmatic rocks are produced from basic to medium acid rocks and the age gathers between 44~31 Ma. There are two possible causes for the alkaline-rich magma: partial melting of ancient oceanic plate and lithospheric mantle; the partial melting of the thickened lower crust triggered by asthenosphere matter upwelling in the process of subduction of India plate. Anyway, all of these dedicate that alkaline-rich is at stage of regional tectonic transformation and in the background of relatively relaxed stress tectonic. The alkaline-rich intrusive rocks are associated with the strike-slip fault systems, suggesting that the cutting depth of the fracture system has reached the lithosphere mantle.

Keywords: Indo-European collision; Jinsha River-Mount Ailao structural belt; alkali-rich intrusive rocks; strike-slip shear; crust-mantle interaction

收稿日期:2017-12-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41502210);江西省教育厅科技计划项目(GJJ170539);江西理工大学博士启动基金项目(jxxjbs17068)

作者简介:郭小飞(1990-),男,博士,讲师,主要从事岩石学、矿床学和构造地质学等方面的研究,E-mail: niubidbrsr@126.com.

青藏高原主体及其周缘地区是研究喜马拉雅造山运动的“天然实验室”，在过去的几十年里一直是研究的热点^[1-5]。受印度和欧亚板块陆陆碰撞作用的影响，在青藏高原东侧的金沙江-哀牢山构造带形成了大规模走滑剪切断裂带，沿断裂带形成了重要的富碱斑岩 Cu-Mo-Au 成矿带，如玉龙铜钼矿床、北衙金多金属矿床、长安铜钼金矿床等^[6-8]。金沙江-哀牢山富碱侵入岩及其斑岩型矿床是特提斯成矿域的重要组成部分，历来受到不同学者的重视^[9-10]。关于新生代富碱岩浆活动与始新世至渐新世陆内伸展的关系，是印欧碰撞加厚岩石圈拆沉的物质响应^[11-13]，还是伴随着新生代大规模走滑断裂形成^[6, 14]？成矿过程中剪切带能否成为流体通道？岩浆作用与剪切作用相互关系如何？这些问题都没有得到很好的解决，也尚未达成一致的认识。文中综合分析了金沙江-哀牢山富碱侵入岩的特征，简要阐述了富碱斑岩的岩石成因及其形成的构造背景，以期对认识青藏高原东(南)缘新生代以来的构造-岩浆-成矿作用与演化提供新的素材。

1 地质背景及年代学框架

金沙江-哀牢山富碱侵入岩带呈北北西-近南北向分布于金沙江-哀牢山断裂两侧，北起唐古拉山麓，向南沿金沙江两侧之玉龙、江达、芒康等出露，经雪山山、点苍山、金平等地，向南东延伸进入越南，在

我国境内青海、西藏、四川、云南绵延 1800 km，宽 40~60 km(图 1)。金沙江-哀牢山富碱侵入岩带由北向南成群呈带出露，分布范围广、规模大小不等。岩性为一套具有高碱特征的岩浆岩 ($K_2O+Na_2O>8\%$)，岩性从基性、中性直到酸性岩都有产出，产状有岩枝、岩株、岩基等。岩石类型有花岗斑岩、二长斑岩、正长斑岩、碱性正长岩、煌斑岩等。它们的围岩主要是中生代地层，其次是古生代地层和新生代地层^[15-16]，呈侵入接触关系。长英质岩石主要为斑状花岗岩，斑晶发育并偶见暗色基性包体(图 2)。如采自绿春的花岗斑岩，总体呈浅灰、灰白色致密块状，斑状结构。斑晶主要由正长石、石英、黑云母及少量角闪石组成，基质为微粒石英、斜长石和黑云母，基质有强绢云母化、钾化现象；采自元阳哈播的正长斑岩，则呈浅灰-浅肉红色，斑状结构。斑晶主要为正长石，少量斜长石、黑云母和角闪石，基质主要为微晶石英和正长石。

金沙江-哀牢山富碱侵入岩带夹持于扬子板块与印度板块之间，构造情况复杂，岩浆作用活跃，成矿条件良好。前人对该带开展过大量研究，积累了丰富的定年数据^[18-41]。笔者收集了金沙江-哀牢山富碱侵入岩带从北段(藏东玉龙带)至中南段(大理-金平带)的新生代富碱岩浆-成矿作用数据，结果表明北段玉龙斑岩成矿带岩浆作用大致集中在 44~36 Ma，而中南段峰期作用大致集中于 35 Ma，相当于晚始新世到中新世。从延伸范围来看，总体上显示由北到南由老变新的趋势。

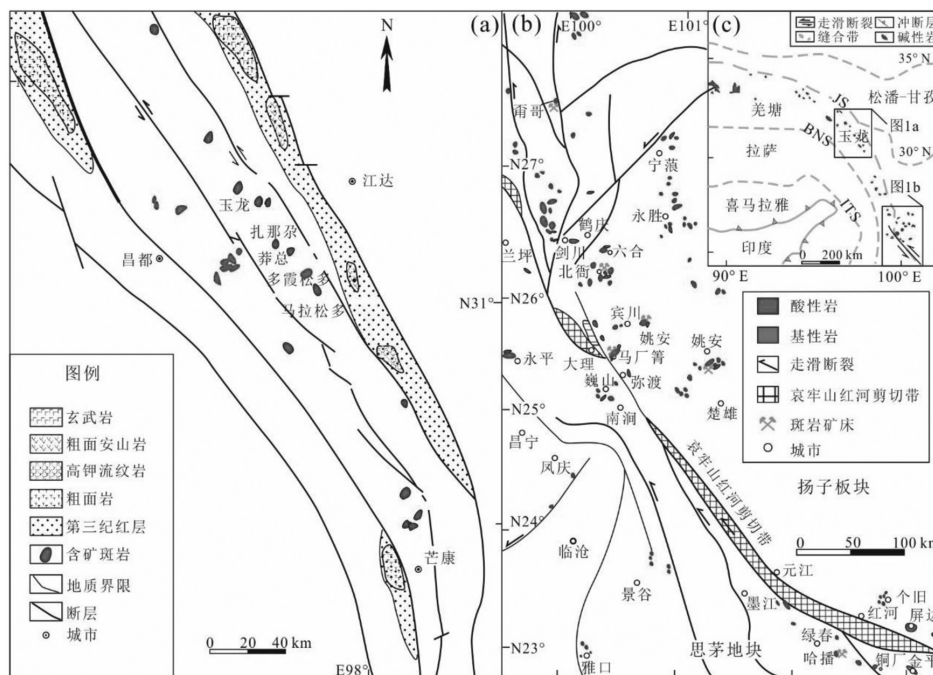


图 1 (a)金沙江-哀牢山富碱侵入岩带北段地质简图(改自文献[6]); (b)中南段地质简图(改自文献[17]); (c)青藏高原构造纲要图

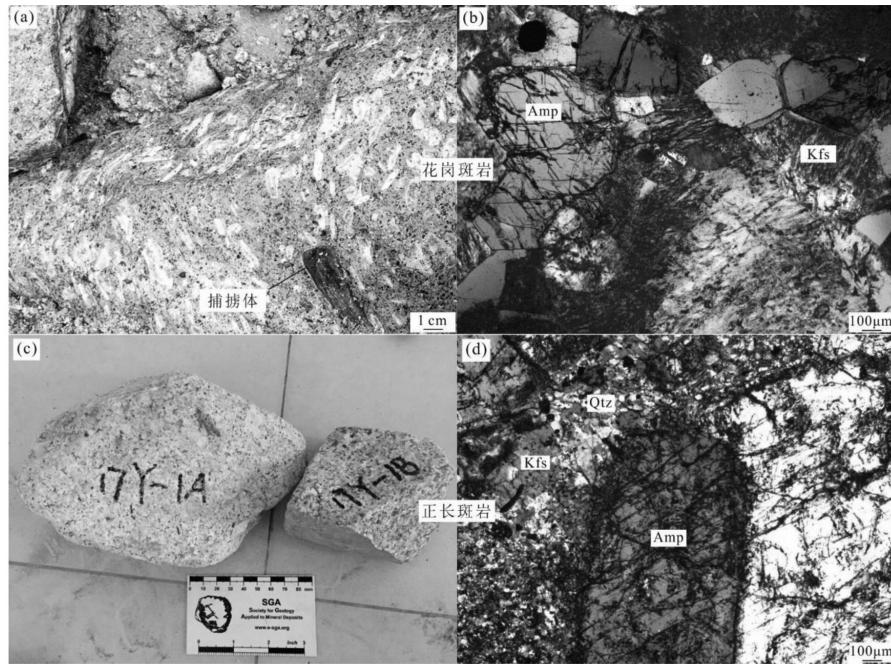


图 2 (a)、(b)金沙江-哀牢山富碱侵入岩带绿春花岗斑岩野外和镜下特征;
(c)、(d)元阳哈播正长斑岩手标本和镜下特征. Amp-角闪石, Kfs-钾长石, Qtz-石英.

2 源区特征及岩石成因

关于钾玄质岩石的成因历来众多纷纭,前人研究将其总结为地幔橄榄岩部分熔融形成的玄武质熔体分离结晶作用^[42]、幔源玄武质岩浆受不同程度地壳混染^[43]、幔源熔体纵向分带富集^[44]或者高压下含金云母富集地幔橄榄岩部分熔融^[45]等几种成因.董方浏等^[46]在研究云南永平卓潘新生代碱性杂岩体时,认为其由含金云母的地幔橄榄岩经高压部分熔融形成,地幔橄榄岩部分熔融之前被从深部上升的富含不相容元素的挥发组分或少部分的熔体交代,形成富集地幔.然而,富集地幔产生的部分熔体富集不相容元素,而卓潘碱性杂岩体呈现出 Nb、Ta 和 Ti 负异常.作者认为卓潘碱性杂岩体是在碰撞造山过程中古扬子板片向西俯冲诱发软流圈地幔上涌,使曾经遭受过古洋壳板片流体强烈交代的壳幔过渡带发生部分熔融形成,反映的是岛弧岩浆的特点.岛弧岩浆的地球化学特征如相对富集 LILE、亏损 HFSE,特别是显著的 Nb、Ta、Ti 负异常,可能与哀牢山-红河断裂走滑作用减压环境下俯冲拆离的洋壳或者早期的富集岩石圈地幔的重熔作用相关^[47-49].另外,刀艳等^[50]认为云南九顶山矿区花岗斑岩岩浆来源于“EM”型地幔和地壳部分熔融,“EM”型地幔端元与俯冲和再循环地壳物质密切相关.由于受到板块碰撞和陆块挤压,诱发深部地幔对流,俯冲板片上方

的“EM”型地幔楔发生部分熔融形成具有富集 LREE、亏损 HFSE 和富集 Sr-Nd 同位素组成的酸性岩浆,地幔物质涌入,向下地壳注入新生物质,并诱发下地壳物质熔融,从而形成壳幔混合源富钾含矿岩浆.

在地球化学方面,金沙江-哀牢山富碱侵入岩带花岗质侵入体富集 Rb、Ba、Th、U、K 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素, Eu 负异常不明显.而哀牢山剪切带内新生代花岗质岩石与藏南淡色花岗岩 Ba 负异常、Eu 中等负异常图 3.大规模富碱岩浆活动被认为形成于伸展背景,而哀牢山深变质带内同期的岩浆活动被认为是印支地块挤出过程产生^[14, 53],可能说明了挤压和伸展并存的构造应力体制,深变质带挤压隆升诱发壳源物质熔融形成花岗岩或混合岩化长英质脉体,变质带周缘伸展状态下产出富碱侵入岩.

3 构造指示

青藏高原东南缘经历了新特提斯洋俯冲以及随后的印度和欧亚板块碰撞,受其影响发生了区域性逆冲推覆、褶皱缩短、伸展走滑和旋转等,同时在其东南侧金沙江-哀牢山发生了大规模左行走滑^[9, 27-29].大规模的新生代富碱岩浆活动及铜(金)成矿作用广泛发育,它们的岩浆-成矿作用集中在 44~31 Ma 之间(表 1 和图 4).关于富碱岩浆活动与始新世至渐

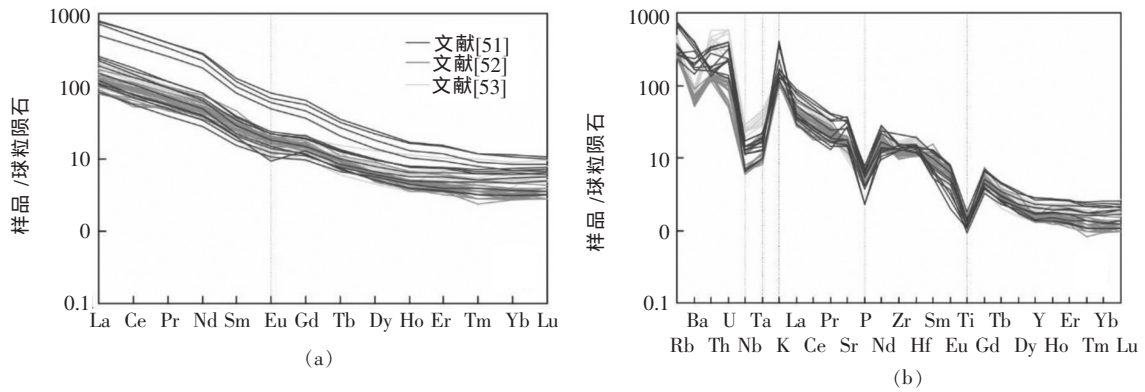


图3 (a)金沙江-哀牢山富碱侵入岩稀土元素配分图;(b)微量元素蛛网图(文献[51]哀牢山剪切带内新生代花岗岩以及文献[52]藏南淡色花岗岩数据用于对比)

表1 金沙江-哀牢山新生代富碱侵入岩年龄记录

采样位置	样品编号	岩相学	测试对象	测试方法	年龄 /Ma	参考文献	
多霞松多	Du-1	矿体	辉钼矿	Re-Os	36.0±0.4	[18]	
马拉松多	83-305	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	36.9±0.4	[19]	
	83-328	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	36.9±0.3		
莽总	83-404	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	37.6±0.2	[20]	
纳日贡玛	T1201	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	43.3±0.5	[21]	
北段	83-271	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	41.3±0.3	[22]	
	83-258	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	41.3±0.2		
	YL025	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	41.0±1.0	[23]	
	YL051	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	43.6±0.8		
	玉龙	ZK1205	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	43.8±0.7	[24]
		YLZK1107	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	43.0±0.5	
		NJZY31	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	41.4±0.6	
		GLLZK0150	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	43.9±0.6	
	Y	矿体	辉钼矿	Re-Os	40.1±1.8	[25]	
	ZK	矿体	辉钼矿	Re-Os	41.6±1.4	[26]	
扎那尔	82-106/141	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	38.5±0.2	[18]	
雪龙山	Y83-909	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Th-Pb (LA-ICP-MS)	35.6±0.2	[27]	
	Y83-803	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	34.8±0.3		
巍山-永平	WS-4	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	35.4±0.6	[28]	
挖色	WS07	钾玄岩	全岩	40Ar/39Ar	35.1±0.2	[29]	
	TKT	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	36.9±0.7	[28]	
	BY-9	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	36.2±0.3		
	北衙	WDS-29	煌斑岩	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	34.9±0.7	[30]
中段	-	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	36.5±0.3	[31]	
	-	矿体	辉钼矿	Re-Os	38.5±0.5	[32]	
	BB163	暗色包体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	35.1±0.2	[33]	
	BXC-8	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	35.6±0.3	[28]	
	马厂箐	BXC-2	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)		35.0±0.2
	-	矿体	辉钼矿	Re-Os	33.9±1.1	[34]	
	11BB1	煌斑岩	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	33.8±0.1	[35]	
	剑川	JC-1	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	35.4±0.3	[28]
		SG-12	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	35.7±0.2	
	姚安	YA-2	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	33.4±0.3	[27]
Y81-974		碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	34.0±0.5	[28]	
永胜-宁蒍	DHS-1	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (SHRIMP)	33.1±0.4	[28]	

续表 1 金沙江-哀牢山新生代富碱侵入岩年龄记录

采样位置	样品编号	岩相学	测试对象	测试方法	年龄 /Ma	参考文献
长安	CA005	细晶正长岩脉	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	32.5±0.1	[7]
	zk805	正长斑岩	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	33.0±0.1	
大坪	04125	近矿围岩	绢云母	40Ar/39Ar	33.8±0.7	[36]
小水井	ZK7302B1	煌斑岩	黑云母	40Ar/39Ar	32.1±0.3	[37]
南段	QFP1	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	36.3±0.6	[38]
	BFP2	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	36.0±0.4	
	PD11-3	碱性花岗质侵入体	辉钼矿	Re-Os	35.5±0.2	
	L13JP-40	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	34.7±0.4	
铜厂	TC78	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	35.1±0.3	[40]
	YTC	矿体	辉钼矿	Re-Os	34.4±0.5	[34]
	L13TC-10	碱性花岗质侵入体	锆石	U-Pb (LA-ICP-MS)	35.1±0.3	[39]
老王寨	LWZ-1	煌斑岩	金云母	40Ar/39Ar	30.8±0.4	[41]
	LWZ-2	煌斑岩	金云母	40Ar/39Ar	34.3±0.2	

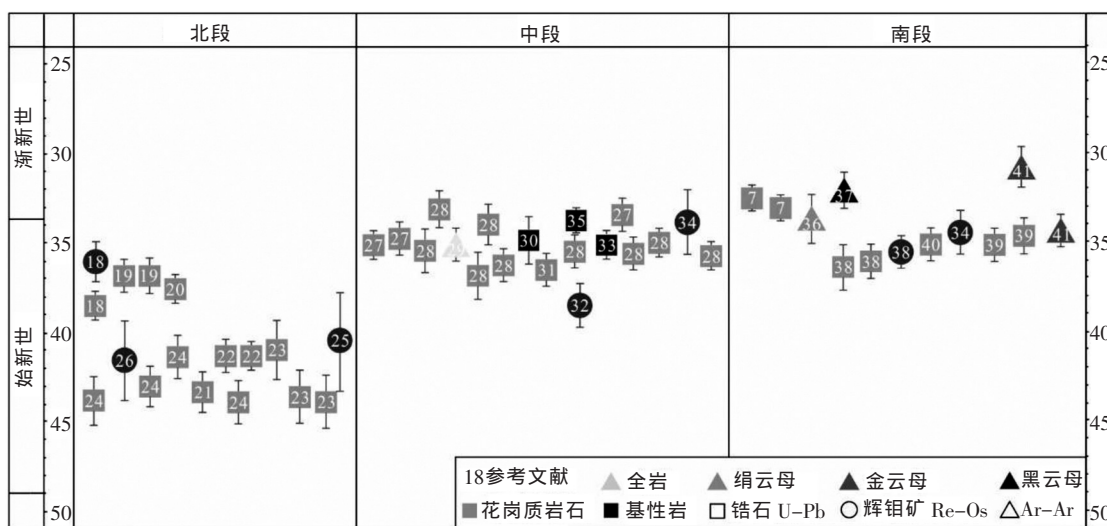


图 4 金沙江-哀牢山新生代富碱侵入岩年龄数据统计分布

新世的陆内构造背景近年来有不少学者对此进行了研究, 基于该时期研究区处于印欧后碰撞环境, 主要提出了以下两个过程:

1) 印度板块向欧亚板块高角度深俯冲过程中板片的断离导致软流圈物质上涌, 诱发加厚大陆下地壳部分熔融^[31, 54]. 黄小龙等^[55]提到在约 40 Ma 下插的俯冲板片断离, 引起岩石圈地幔对流减薄和部分熔融形成富碱岩浆. 部分壳源物质被带入下插的地幔楔, 与地幔物质混合形成壳幔过渡层并发生部分熔融, 沿有利构造部位上侵形成富碱斑岩^[56-58]. 印-亚大陆碰撞造山带走滑断裂系统经历了从始新世的压扭状态到中新世的张扭状态的转换^[14](图 5(a)). 富碱斑岩和剪切走滑断裂最为发育的时期对应于区域构造动力体制转换期、板块汇聚速率急剧降低和运动方向显著变化的阶段^[6, 59].

2) 受印度和欧亚板块碰撞影响形成的走滑断裂

系统切割深度可能深达岩石圈地幔, 进而可能诱发被掩埋的古特提斯残留洋壳热流动^[60-61], 古洋壳和岩石圈地幔发生部分熔融, 地壳物质和大洋沉积物以再循环的方式参与了深部混合作用, 形成富集地幔源区. 幔源碱性岩浆通过深大断裂上升并迅速就位地壳浅部, 其深部可能存在壳幔过渡层剧烈的上涌过程^[62-63](图 5(b)).

总之, 金沙江-哀牢山富碱岩浆活动不管是古洋壳板块加岩石圈地幔部分熔融, 还是印度板块俯冲过程中板片断离导致软流圈物质上涌的成因模式, 均是处在强烈的区域性构造应力转换阶段, 区域上发育的深大断裂及其次级断裂可能为大规模岩浆成矿流体的活动提供了通道. 金沙江-哀牢山构造带新生代以来发育了大规模走滑剪切断裂带, 沿断裂带形成了重要的富碱斑岩 Cu-Mo-Au 成矿带. 这与众多学者认为的成矿作用与剪切作用密

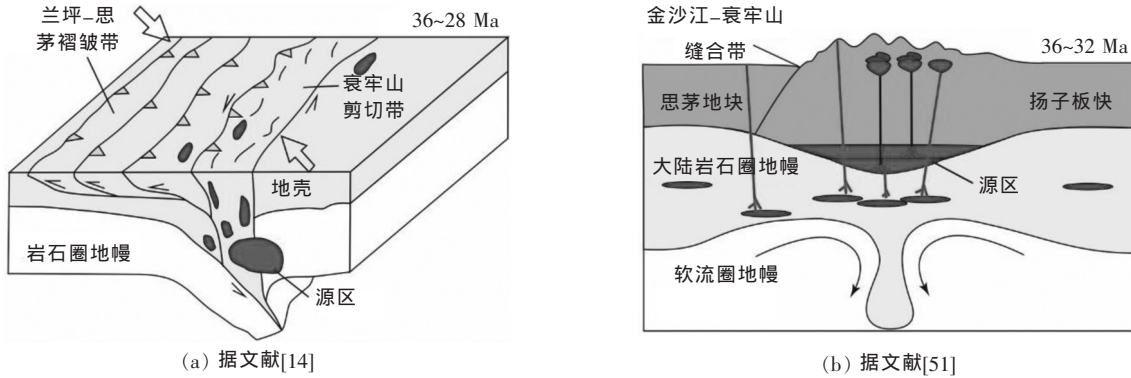


图5 金沙江-哀牢山富碱侵入岩带构造演化示意

切相关符合^[36, 64-65]。尽管也有学者基于地理位置上金矿床所在位置处于剪切带两侧,剪切带内鲜见成矿流体活动,以及剪切作用晚于富碱岩浆作用的证据不这么认为^[51, 66]。我们认为,首先变质带内的强烈剥蚀作用在一定程度上减少了剪切带内的成矿流体,其次剪切作用的初始时间可能更早^[67]。故而大型走滑断裂系统与富碱斑岩岩浆活动具有一定的关联。正如马新民^[68]所说“地壳增厚”模式应是高原隆升模式中的学术主流,但沿着高原内部大型走滑断层的滑动也是现今大陆变形的一种重要形式,在高原形成过程中尤其是后期起着不可忽视的作用。

4 结论

1) 广布于金沙江-哀牢山构造带的新生代富碱岩浆岩,岩性上从基性的煌斑岩到中酸性的侵入岩均有产出。其北段玉龙斑岩成矿带岩浆作用大致集中在44~36 Ma,而中南段峰期作用大致集中于35 Ma,总体上显示由北到南由老变新的趋势。

2) 富碱侵入岩可能是由古洋壳板块和岩石圈地幔部分熔融形成,或者在印度板块俯冲过程中软流圈物质上涌引起加厚大陆下地壳部分熔融形成,然后沿有利构造部位上侵。

3) 富碱岩浆活动所处的构造背景是在强烈的区域性构造应力转换阶段,其伴随的大型走滑断裂切穿了岩石圈地幔。

参考文献:

[1] Armijo R, Tapponnier P, Han T. Late Cenozoic right-lateral strike-slip faulting in southern Tibet [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1989, 94(B3):2787-2838.
 [2] Replumaz A, Tapponnier P. Reconstruction of the deformed collision zone between India and Asia by backward motion of lithospheric blocks [J]. *Journal of Geophysical Research Solid*

Earth, 2003, 108(B6):12-19.

- [3] Royden L H, Burchfiel B C, van der Hilst R D. The geological evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Science*, 2008, 321(5892): 1054-1058.
 [4] Wang Q, Hawkesworth C J, Wyman D, et al. Pliocene-Quaternary crustal melting in central and northern Tibet and insights into crustal flow[J]. *Nature Communications*, 2016, 7:11888.
 [5] Chen Y, Yan M, Fang X, et al. Detrital zircon U-Pb geochronological and sedimentological study of the Simao Basin, Yunnan: Implications for the Early Cenozoic evolution of the Red River[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2017, 476:22-33.
 [6] Hou Z, Ma H W, Zaw K, et al. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. *Economic Geology*, 2003, 98(1):125-145.
 [7] 田广, 张长青, 彭惠娟, 等. 哀牢山长安金矿成因机制及动力学背景初探:来自 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和黄铁矿原位微量元素测定的证据[J]. *岩石学报*, 2014, 30(1):125-138.
 [8] Mao J, Zhou Y, Liu H, et al. Metallogenic setting and ore genetic model for the Beiya porphyry-skarn polymetallic Au orefield, western Yunnan, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 86:21-34.
 [9] 莫宣学, 赵志丹, 喻学惠. 青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
 [10] Deng J, Wang Q, Li G. Tectonic evolution, superimposed orogeny, and composite metallogenic system in China [J]. *Gondwana Research*, 2017, 50:216-266.
 [11] Chung S L, Lee T Y, Lo C H, et al. Intraplate extension prior to continental extrusion along the Ailao Shan-Red River shear zone[J]. *Geology*, 1997, 25(4):311-314.
 [12] Chung S L, Lo C H, Lee T Y, et al. Diachronous uplift of the Tibetan Plateau starting 40 Myr ago [J]. *Nature*, 1998, 394(6695): 769-773.
 [13] Chung S L, Chu M F, Zhang Y, et al. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism[J]. *Earth-Science Reviews*, 2005, 68(314):173-196.
 [14] Wang J H, Yin A, Harrison T M, et al. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 188(1):123-133.
 [15] 张玉泉, 谢应雯. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. *中国科学*, 1997, 27(4):289-293.
 [16] 段建中. 金沙江-红河富碱侵入岩带岩石-矿物学及岩石化学

- 特征[J]. 云南地质, 2000(3):207-231.
- [17] Lu Y J, Mccuaig T C, Li Z X, et al. Paleogene post-collisional lamprophyres in western Yunnan, western Yangtze Craton: Mantle source and tectonic implications[J]. *Lithos*, 2015, 233:139-161.
- [18] Liang H Y, Campbell I H, Allen C, et al. Zircon Ce^{4+}/Ce^{3+} ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet[J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41(2):152-159.
- [19] 梁华英,莫济海,孙卫东,等. 玉龙铜矿带马拉松多斑岩体岩石学及成岩成矿系统年代学分析[J]. 岩石学报, 2009, 25(2):385-392.
- [20] 伍静,梁华英,莫济海,等. 玉龙斑岩铜矿带莽总含矿斑岩体岩石学特征及锆石 U-Pb 年龄研究[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(2):300-306.
- [21] 杨志明,侯增谦,杨竹森,等. 青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床:岩石成因及构造控制[J]. 岩石学报, 2008, 24(3):489-502.
- [22] 梁华英,莫济海,孙卫东,等. 藏东玉龙超大型斑岩铜矿床成岩成矿系统时间跨度分析[J]. 岩石学报, 2008, 24(10):2352-2358.
- [23] 郭利果,刘玉平,徐伟,等. SHRIMP 锆石年代学对西藏玉龙斑岩铜矿成矿年龄的制约[J]. 岩石学报, 2006, 22(4):1009-1016.
- [24] 王成辉,唐菊兴,陈建平,等. 西藏玉龙铜钼矿同位素年代学研究[J]. 地质学报, 2009, 83(10):1445-1455.
- [25] Hou Z, Zeng P, Gao Y, et al. Himalayan Cu - Mo - Au mineralization in the eastern Indo - Asian collision zone: constraints from Re - Os dating of molybdenite[J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41(1):33-45.
- [26] 唐菊兴,王成辉,屈文俊,等. 西藏玉龙斑岩铜钼矿辉钼矿-钼同位素定年及其成矿学意义[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3):215-218.
- [27] Liang H Y, Campbell I H, Allen C M, et al. The age of the potassic alkaline igneous rocks along the Ailao Shan - Red River shear zone: implications for the onset age of left-lateral shearing [J]. *The Journal of geology*, 2007, 115(2):231-242.
- [28] Lu Y J, Kerrich R, Cawood P A, et al. Zircon SHRIMP U - Pb geochronology of potassic felsic intrusions in western Yunnan, SW China: Constraints on the relationship of magmatism to the Jinsha suture[J]. *Gondwana Research*, 2012, 22(2):737-747.
- [29] Huang X L, Niu Y, Xu Y G, et al. Mineralogical and geochemical constraints on the petrogenesis of post-collisional potassic and ultrapotassic rocks from western Yunnan, SW China[J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(8):1617-1654.
- [30] 和文言,莫宣学,喻学惠,等. 滇西北衙煌斑岩的岩石成因及动力学背景:年代学、地球化学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2014, 30(11):3287-3300.
- [31] 和文言,莫宣学,喻学惠,等. 滇西北衙金多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(4):1301-1310.
- [32] 牛浩斌,胡文懿,丁俊,等. 滇西北衙金多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质与勘探, 2015, 51(1):1-12.
- [33] 郭晓东,葛良胜,王梁,等. 云南马厂箐岩体中深源包体特征及其锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2012, 28(5):1413-1424.
- [34] 王登红,屈文俊,李志伟,等. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期 Re-Os 同位素定年[J]. 中国科学, 2004, 34(4):345-349.
- [35] 贾丽琼,莫宣学,董国臣,等. 滇西马厂箐煌斑岩成因:地球化学、年代学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 2013, 29(4):1247-1260.
- [36] Sun X, Zhang Y, Xiong D, et al. Crust and mantle contributions to gold-forming process at the Daping deposit, Ailaoshan gold belt, Yunnan, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 36(1/3): 235-249.
- [37] 符德贵,周云满,张长青,等. 滇中小水井金矿煌斑岩特征及与金矿化的关系[J]. 地质与勘探, 2010, 46(3):414-425.
- [38] 祝向平,莫宣学, Noel C. WHITE, 等. 云南哈播斑岩型铜(-钼-金)矿床地质与成矿背景研究[J]. 地质学报, 2009, 83(12):1915-1928.
- [39] Chen B, Long X, Wilde S A, et al. Delamination of Lithospheric Mantle evidenced by Cenozoic potassic rocks in Yunnan, SW China: A contribution to uplift of the Eastern Tibetan Plateau[J]. *Lithos*, 2017, 284:709-729.
- [40] 黄波,梁华英,莫济海,等. 金平铜厂铜钼矿床赋矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及意义[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(4):598-602.
- [41] Wang J, Qi L, Yin A, et al. Emplacement age and PGE geochemistry of lamprophyres in the Laowangzhai gold deposit, Yunnan, SW China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2001, 44:146-154.
- [42] O'Hara M J, Yoder H S. Formation and fractionation of basic magmas at high pressures[J]. *Scottish Journal of Geology*, 1967, 3(1): 67-117.
- [43] Benito R, López-Ruiz J, Cebriú J M, et al. Sr and O isotope constraints on source and crustal contamination in the high-K calc-alkaline and shoshonitic Neogene volcanic rocks of SE Spain[J]. *Lithos*, 1999, 46(4):773-802.
- [44] Harris P G, Middlemost E A K. The evolution of kimberlites[J]. *Lithos*, 1970, 3(1):77-88.
- [45] Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. *Journal of petrology*, 1996, 37(1):45-71.
- [46] 董方浏,莫宣学,喻学惠,等. 云南永平卓潘新生代碱性杂岩体的元素地球化学和 Nd-Sr-Pb 同位素特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(5):986-994.
- [47] Guo Z, Hertogen J, Liu J, et al. Potassic magmatism in western Sichuan and Yunnan Provinces, SE Tibet, China: Petrological and geochemical constraints on petrogenesis [J]. *Journal of Petrology*, 2005, 46(1):33-78.
- [48] Xu X W, Zhang B L, Qin K Z, et al. Origin of lamprophyres by the mixing of basic and alkaline melts in magma chamber in Beiya area, western Yunnan, China[J]. *Lithos*, 2007, 99(3):339-362.
- [49] 薛传东,骆少勇,宋玉财,等. 滇西北中甸陆家村石英二长斑岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(6):1845-1855.
- [50] 刀艳,李峰,王蓉,等. 滇西九顶山铜钼矿花岗岩斑岩成因:LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素制约[J]. 中国地质, 2015(1):134-148.
- [51] 戚宇祥,赵宇浩,朱路华,等. 滇西点仓山构造带新生代岩浆活动及其构造意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(8):2217-2228.

- [52] Zeng L, Gao L E, Xie K, et al. Mid-Eocene high Sr/Y granites in the Northern Himalayan Gneiss Domes: Melting thickened lower continental crust[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 303(3/4):251–266.
- [53] Lu Y J, Kerrich R, Kemp A I S, et al. Intracontinental Eocene–Oligocene porphyry Cu mineral systems of Yunnan, western Yangtze Craton, China: compositional characteristics, sources, and implications for continental collision metallogeny[J]. *Economic Geology*, 2013, 108(7):1541–1576.
- [54] 寇彩化, 张招崇, 侯通, 等. 滇西剑川 OIB 型苦橄玢岩: 俯冲板块断离的产物[J]. *岩石学报*, 2011, 27(9):2679–2693.
- [55] 黄小龙, 徐义刚, 杨启军, 等. 滇西晚始新世高镁富钾火山岩的地球化学特征及其岩石成因机制探讨 [J]. *地球化学*, 2007, 36(2): 120–138.
- [56] 曾普胜, 莫宣学, 喻学惠. 滇西富碱斑岩带的 Nd, Sr, Pb 同位素特征及其挤压走滑背景[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(3):231–241.
- [57] 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 等. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. *现代地质*, 2007, 21(2):332–351.
- [58] 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 青藏新生代钾质火山活动的时空迁移及向东部玄武岩省的过渡: 壳幔深部物质流的暗示[J]. *现代地质*, 2007, 21(2):255–264.
- [59] 杨立强, 刘江涛, 张闯, 等. 哀牢山造山型金成矿系统: 复合造山构造演化与成矿作用初探[J]. *岩石学报*, 2010, 26(6):1723–1739.
- [60] 刘福田, 刘建华, 何建坤, 等. 滇西特提斯造山带下扬子地块的俯冲板片[J]. *科学通报*, 2000, 45(1):79–65.
- [61] Flower M F J, Hoàng N, Lo C H, et al. Potassic magma genesis and the Ailao Shan–Red River fault[J]. *Journal of Geodynamics*, 2013, 69(Special Issue):84–105.
- [62] 徐兴旺, 蔡新平, 宋保昌, 等. 滇西北衙金矿区碱性斑岩岩石学、年代学和地球化学特征及其成因机制 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 631–642.
- [63] 邓军, 杨立强, 葛良胜, 等. 滇西富碱斑岩型金成矿系统特征与变化保存[J]. *岩石学报*, 2010, 26(6):1633–1645.
- [64] Zaw K, Peters S G, Cromie P, et al. Nature, diversity of deposit types and metallogenic relations of South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31(1/2//3/4):3–47.
- [65] Goldfarb R J, Taylor R D, Collins G S, et al. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia[J]. *Gondwana Research*, 2014, 25(1):48–102.
- [66] Liu J, Chen X, Wu W, et al. New tectono–geochronological constraints on timing of shearing along the Ailao Shan–Red River shear zone: Implications for genesis of Ailao Shan gold mineralization[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 103:70–86.
- [67] Guo X, Wang Y, Liu H, et al. Zircon U–Pb geochronology of the Cenozoic granitic mylonite along the Ailaoshan–Red river shear zone: New constraints on the timing of the sinistral shearing[J]. *Journal of Earth Science*, 2016, 27(3):435–443.
- [68] 马新民. 晚新生代嘉黎断裂带在青藏高原隆升过程中的作用[D]. 武汉: 中国地质大学, 2006.