



移动阅读

冯翼鹏, 王书来, 王根厚, 等, 2024. 藏东吉塘变质核杂岩组成及大地构造意义[J]. 沉积与特提斯地质, 44(4): 854-870. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04002](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04002)

FENG Y P, WANG S L, WANG G H, et al., 2024. Composition and tectonic significance of Jitang metamorphic core complex in eastern Xizang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 44(4): 854-870. doi: [10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04002](https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04002)

藏东吉塘变质核杂岩组成及大地构造意义

冯翼鹏¹, 王书来^{1*}, 王根厚², 李典³, 刘函⁴, 鲁扬⁵, 唐宇², 张培烈², 韩宁²

(1. 北京矿产地质研究院有限责任公司, 北京 100012; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 成都理工大学地球科学与资源学院, 四川 成都 610059; 4. 中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心), 四川 成都 610218; 5. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065099)

摘要: 吉塘变质核杂岩是研究北澜沧江缝合带构造演化过程的重要窗口。本文通过对吉塘变质核杂岩进行构造岩性填图、构造解析及锆石 U-Pb 测年, 将变质核杂岩自上而下解析为沉积盖层、韧性流变层及核部变质杂岩的“三元结构”, 核部变质杂岩与韧性流变层之间以韧性拆离带相连, 拆离带具有上盘向南东方向剪切的运动学特征。吉塘变质核杂岩中同剪切花岗岩质糜棱岩的锆石 U-Pb 年龄为 $(33.0\pm 1.2)\text{Ma}\sim(28.4\pm 0.6)\text{Ma}$, 剪切后脉体的锆石 U-Pb 年龄为 $(18.35\pm 1.2)\text{Ma}$ 。综合以上研究结果, 推测吉塘变质核杂岩新生代的隆升过程为: 强烈的走滑断层活动形成了拉分盆地, 其伸展环境使地壳减薄, 大量岩浆上涌, 最终导致了吉塘变质核杂岩于渐新世—中新世的隆升。吉塘变质核杂岩为渐新世—中新世大型走滑断层作用导致的区域性造山后伸展及大规模南东向逃逸构造事件的产物。

关键词: 藏东; 吉塘变质核杂岩; 韧性拆离带; 锆石 U-Pb 测年; 花岗岩质糜棱岩

中图分类号: P588.3; P542

文献标识码: A

Composition and tectonic significance of Jitang metamorphic core complex in eastern Xizang

FENG Yipeng¹, WANG Shulai^{1*}, WANG Genhou², LI Dian³, LIU Han⁴, LU Yang⁵, TANG Yu²,
ZHANG Peilie², HAN Ning²

(1. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources Co., Ltd., Beijing 100012, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 4. Chengdu Center, China Geology Survey (Geosciences Innovation Center of Southwest China), Chengdu 610218, China; 5. Rock Analysis Laboratory, Regional Geology Survey Institute of Hebei Province, Langfang 065099, China)

Abstract: The Jitang metamorphic core complex is a key window for studying the tectonic evolution of the northern Lancangjiang zone. In this paper, through the study of structural lithology mapping, structural analysis, and zircon U-Pb dating, the Jitang metamorphic core complex is dissected from top to bottom into the upper unit (low-grade metamorphic or unmetamorphic

收稿日期: 2023-04-25; 改回日期: 2023-08-06; 责任编辑: 黄春梅; 科学编辑: 唐渊

作者简介: 冯翼鹏(1992—), 博士研究生, 主要从事构造地质学研究。ORCID: 0000-0003-4494-9528. E-mail: 393690635@qq.com

通信作者: 王书来(1968—), 博士生导师, 博士, 主要从事矿田构造、矿产勘查研究。E-mail: wangsl@bigm.cn

资助项目: 国家自然科学基金项目(42172259); 中国地质调查局地质调查项目(DD20190617, DD20221635)

sedimentary sequence), the middle unit (schists and phyllites), and the lower unit (gneiss core). The lower unit (gneiss core) and the middle unit are connected by a ductile detachment shear zone, with the shear sense of the ductile shear zones indicating southeastern shearing of the upper plate. The zircon U-Pb age of syn-tectonic granitic mylonite in the Jitang metamorphic core complex ranges from (33.0 ± 1.2) Ma to (28.4 ± 0.6) Ma, and that of the post-tectonic vein is (18.35 ± 1.2) Ma. It is speculated that the Cenozoic uplift process of the Jitang metamorphic core complex is as follows: strong strike-slip fault activity leads to the formation of a pull-apart basin, whose extensional environment leads to crustal thinning and a large amount of magma upwelling. Finally, this process resulted in the uplift of the Jitang metamorphic core complex during the Oligocene-Miocene. It is concluded that the Jitang metamorphic core complex is the product of a regional post-orogenic extension and a large-scale south-east trending escape tectonic event caused by the Oligocene-Miocene large-scale strike-slip faulting.

Key words: eastern Xizang; Jitang metamorphic core complex; ductile detachment shear zone; zircon U-Pb age; granitic mylonite

0 引言

沿班公湖-怒江缝合带、龙木错-双湖-澜沧江缝合带和金沙江缝合带将三江地区北部分割为拉萨、南羌塘和北羌塘三个微地块(图 1a, Metcalfe, 2002, 2013; Mo et al., 1994; Metcalfe, 2002, 2013; Zhu et al., 2013; Wang et al., 2014b)。龙木错-双湖-澜沧江缝合带被认为是南羌塘地块与北羌塘地块的分界线,其构造演化过程具有重要意义(李才, 1987, 2008; Zhao et al., 2014, 2015)。北澜沧江位于龙木错-双湖-澜沧江缝合带的东部,但由于受到大量的植被覆盖及强烈的地形切割,该地区在构造演化及属性方面的研究较薄弱。吉塘岩群是北澜沧江带中最为瞩目的构造地质体,同样也是研究龙木错-双湖-澜沧江缝合带构造演化的重要窗口。

前人从岩石学、地球化学、地质年代学等角度对吉塘岩群进行分析、研究,获得了大量研究成果。1955年,李璞首先发现并将其命名为“吉塘变质岩”,且发现吉塘岩群内部受到了多期岩浆活动的侵入及多期构造的叠加改造;艾长兴和陈炳蔚(1986)将“吉塘变质岩”修改为吉塘群,将上部浅变质部分称为西西组,下部变质程度高的部分称为吉塘组,并厘定二者形成时代均为古生代;藏东区域地质调查项目(西藏自治区地质调查院, 2007^①)首次提出西西岩群可能属新元古代,吉塘岩群属古—中元古代;昌都幅 1:20 万区域地质调查报告(西藏自治区地质矿产局, 1999^②)首次分析了在西西群和吉塘群中发育的混合岩及混合花岗岩,并称其为“吉塘复式岩体”,厘定其形成时代为三叠纪。王根厚(2006)将吉塘岩群与西西岩群称为吉塘变质杂岩系,首次对吉塘岩群进行了详细的构造解析

工作,划分了吉塘岩群变质杂岩的内部构造单元,并对吉塘岩群古生代的剥露机制进行了厘定。

随着测年手段的不断更新,大量吉塘岩群的年代学研究成果涌现出来,主要集中在二叠纪到三叠纪(李才等, 2009; 邱军强等, 2011; 王保弟等, 2011; Hu et al., 2014; Tao et al., 2014)。岩石地球化学及地质年代学研究表明,吉塘岩群中发育的印支期—晚印支期岩浆事件与古特提斯洋的演化相关,北澜沧江缝合带从而被认为是连接龙木错-双湖缝合带与昌宁-孟连缝合带的枢纽(西藏自治区地质矿产局, 1999^①; 李才等, 2009; 邱军强等, 2011; 王保弟等, 2011; Hu et al., 2014; Tao et al., 2014)。吉塘岩群的中—新元古代的变质年龄及中生代的构造变形年龄均有了相应的构造背景,但新生代以来的构造演化过程却是吉塘岩群研究的空白区。值得注意的是,大量有关吉塘岩群南部新生代以来的构造、岩浆事件均有报道。吉塘岩群南部的巽他地块发育了一系列受哀牢山-红河断裂带及高黎贡构造带控制的新生代变质核杂岩(Tapponnier et al., 1990; Leloup et al., 1995, 2001a; Wang et al., 2001; Zhang and Schärer, 1999; Gilley et al., 2003),如高黎贡变质核杂岩、点苍山变质核杂岩及雪龙山变质核杂岩等,这些变质核杂岩同吉塘岩群类似,具有新元古代变质基底(刘俊来等, 2008)。一系列由大型走滑断裂控制的新生代沉积盆地,呈北西—南东向展布于研究区东南缘(Li et al., 2018; Tang et al., 2017; Xiong et al., 2020; Xiong et al., 2020; Su et al., 2018; Li et al., 2015; Wu et al., 2018; Hoke et al., 2014)。岩浆事件方面,邱军强等(2012)在类乌齐过往同地区识别出了一套吉塘岩群内新生代(35 Ma)的黑云二长花岗岩,并厘定其为后碰撞环境下的产物。研

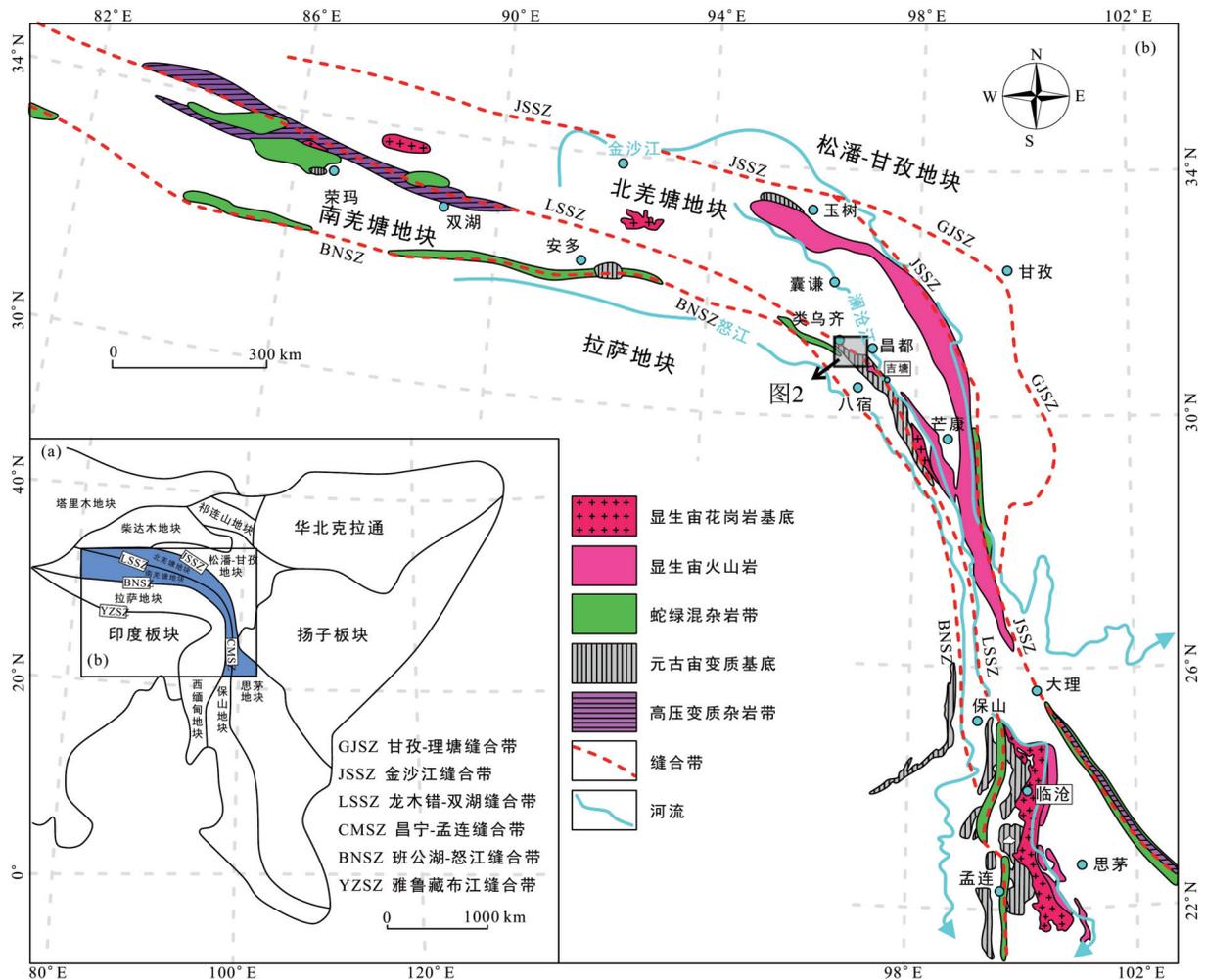


图1 区域大地构造简图(a)与青藏高原—三江地区构造单元图解(b) (修改自陈奇等, 2019; Zhu et al., 2013)

Fig. 1 Regional tectonic schematic map of the study area (a) and Qingzang (Tibet) Plateau-Sanjiang area tectonic sketch (b) (modified from Chen et al., 2019; Zhu et al., 2013)

究区东南的玉龙铜矿陆续识别出了 41.3~38.2 Ma 的岩浆岩年龄(林彬等, 2017; 白涛等, 2019; 张海等, 2019; 刘俊等, 2022), 并且一系列始新世的岩体也逐渐被识别出来(董彦龙, 2013; Zhao et al., 2016; 唐渊等, 2016; Xie et al., 2016)。

那么, 吉塘岩群是否在新生代也存在强烈的构造变形事件? 它的变质基底究竟是何时被剥蚀至地表? 它由哪些构造单元组成? 上述问题的解决对于厘清北澜沧江缝合带构造演化具有重大的科学意义。本次研究旨在通过详细的路线地质调查及剖面测制, 结合室内显微构造分析及花岗质糜棱岩、长英质脉体的锆石 U-Pb 测年等手段, 对吉塘岩群内部构造单元进行解析, 厘定其变质核杂岩的构造属性, 并探究吉塘变质核杂岩在新生代以来的构造变形特征及隆升表露机制。

1 地质概况

研究区位于藏东昌都类乌齐地区, 处于青藏高原东缘与“三江并流”(金沙江、澜沧江、怒江)结合部位的弧形区域, 在构造位置上属于南羌塘地块东南缘的北澜沧江缝合带(图 1b)。研究区区域构造线方向为北西—南东向, 发育一系列褶皱、脆性断层和韧性剪切带。区内最主要构造为北澜沧江走滑断层带(潘桂棠, 2004), 是受印度—欧亚板块陆—陆碰撞影响的强烈活动带, 班公湖—怒江缝合带及代表龙木错—双湖缝合带的二叠—三叠纪岩浆岩带从研究区穿过(图 1b)。

研究区主要出露元古宙和中生代地层。研究区的东北及西南部以三叠系和侏罗系为主, 中部则主要出露早—中元古代吉塘岩群($Pt_{1-2}J$)、卡穷岩

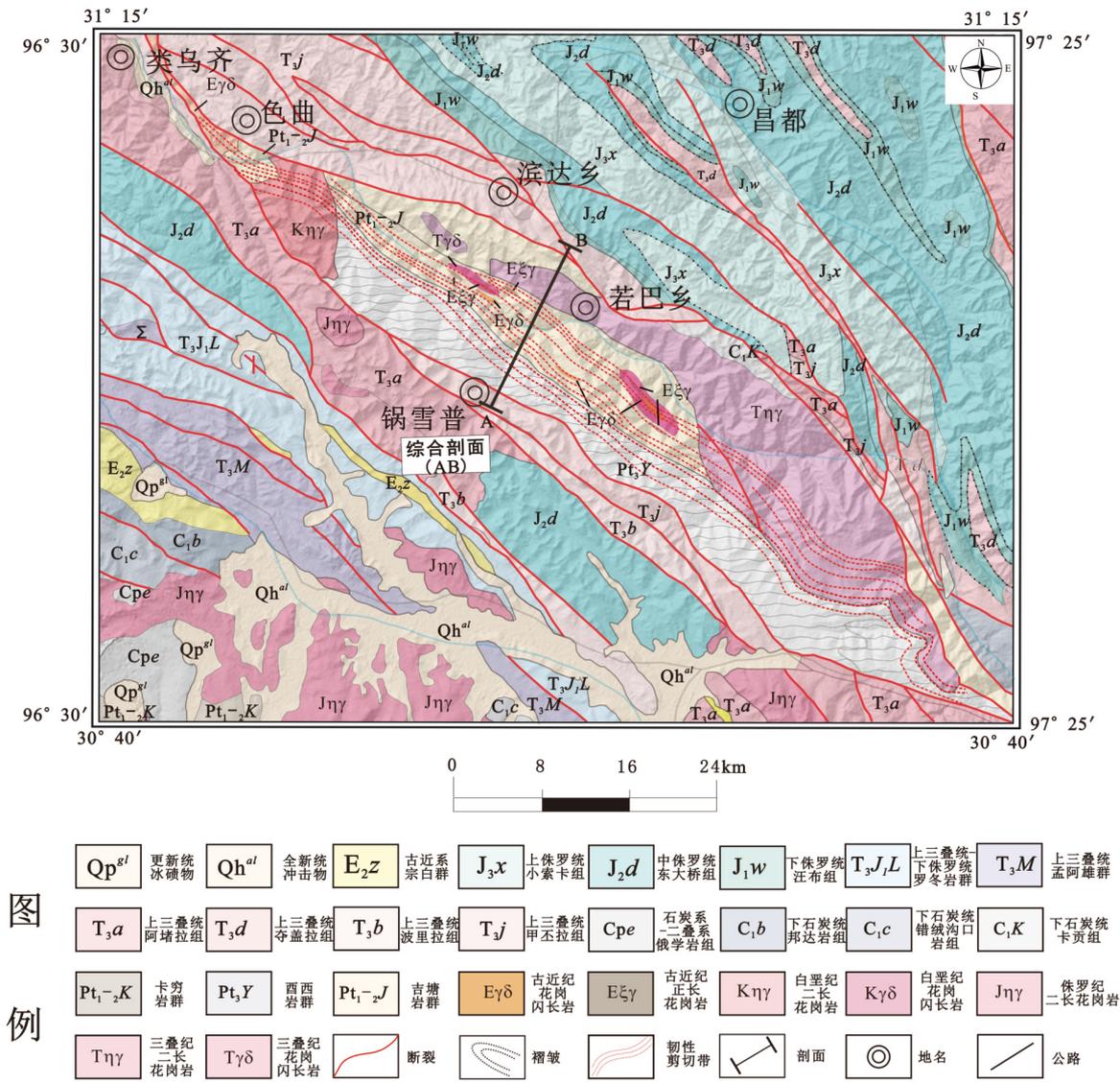


图2 研究区地质图 (修改自潘桂棠等, 2004)

Fig. 2 Geological map of the study area (modified from Pan et al., 2004)

群(Pt_{1-2K})及新元古代西西岩群(Pt_{3Y})(潘桂棠等, 2004)。岩浆岩主要位于中部,呈北西向展布,主要由中生代的二长花岗岩、花岗闪长岩及新生代的花岗闪长岩与正长花岗岩组成(图2)。

研究区内褶皱、断裂等构造发育。断裂构造主要呈北西向展布,北北东向断裂规模较小;北西向断裂与北东向断裂为一组共轭配套的断裂,它们相互切割。三叠纪—侏罗纪地层中见多条枢纽近北西走向的褶皱发育,吉塘岩群和西西岩群内同样可见不同尺度的褶皱变形,可划分多个期次,并被后期近北西断裂和近北北西向断裂穿切(图2)。主要为滨达—若巴断裂、锅雪普—若巴乡—滨达乡韧性剪切带、昌都地块内部盖层断裂及切过所有断

层的羊达—亚许断裂。

2 吉塘变质核杂岩组成结构

吉塘变质杂岩整体上由吉塘片麻岩及西西片岩构成,呈北西—南东向的“鱼”形展布(图2)。藏东地区强烈的构造运动使研究区地形切割较深,加之植被覆盖严重,大部分地区野外露头出露不连续,但位于滨达乡、锅雪普及若巴乡的野外露头相对清晰且连续。因此,本次工作重点选择以上三个观测点,对吉塘变质核杂岩的构造组成单元、变质变形特征进行精细剖析,识别出了包含沉积盖层、韧性流变层及核部变质杂岩(含上部韧性拆离带)的变质核杂岩的“三元结构”(图3)。

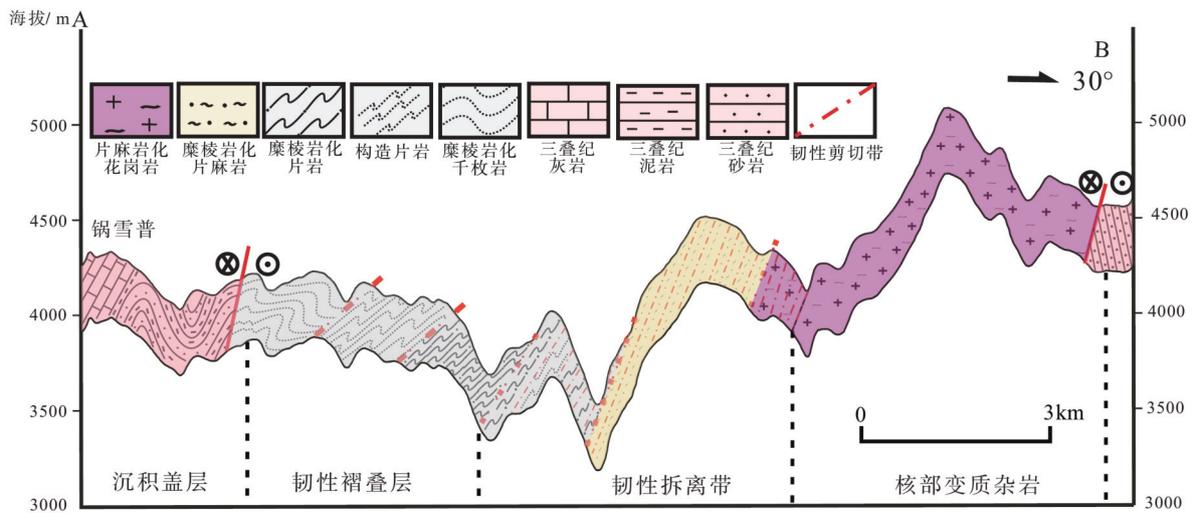


图3 研究区构造剖面(剖面位置见图2)

Fig. 3 Structural cross-section in the study area (the location of the cross-section is shown in Fig. 2)

2.1 沉积盖层

沉积盖层一般变形较弱,以脆性变形为主,主要为多期次多世代的正断层,岩性主要为浅变质或者未变质的沉积岩组成。在研究区内,沉积盖层分布广泛,构造变形主要为脆性断裂,呈现北北西—南南东向至北西—南东向展布。沉积盖层主要由上三叠统、侏罗系及古近系组成,其中晚三叠世沉积盖层与韧性流变层(褶皱层)呈断层接触关系(图3)。强烈的伸展构造运动,使得大量的沉积盖层缺失,具有变质核杂岩典型特征。

在沉积盖层中发育着一系列的正断层,露头可见有发育于石英砂岩中的低角度正断层(图4a),牵引褶皱的弯曲方向指示了该断层顶面向南东方向滑动的运动学特征。沉积盖层的下部单元以板岩为主,板岩中发育大量脆性正断层,断层带中发育碎裂岩、断层角砾及断层泥(图4b),部分断层仅发育碎裂岩带(图4c)。向下部单元过渡,变质程度逐渐加强,岩性逐渐由板岩过渡为千枚岩(图4d),反映了由沉积盖层向韧性流变层变质程度不断加深的特征。

2.2 韧性流变层(浅变质褶皱层)

韧性流变层也称浅变质褶皱层,位于沉积盖层之下,是在较高的变形温度下遭受近水平剪切而发生韧性流变的产物(宋鸿林, 1995; 刘德民, 2003)。研究区中的韧性流变层主要由西西岩群的千枚岩及构造片岩构成(图3)。千枚岩及构造片岩受韧性流变作用,形成轴面及枢纽均近于水平的平卧褶

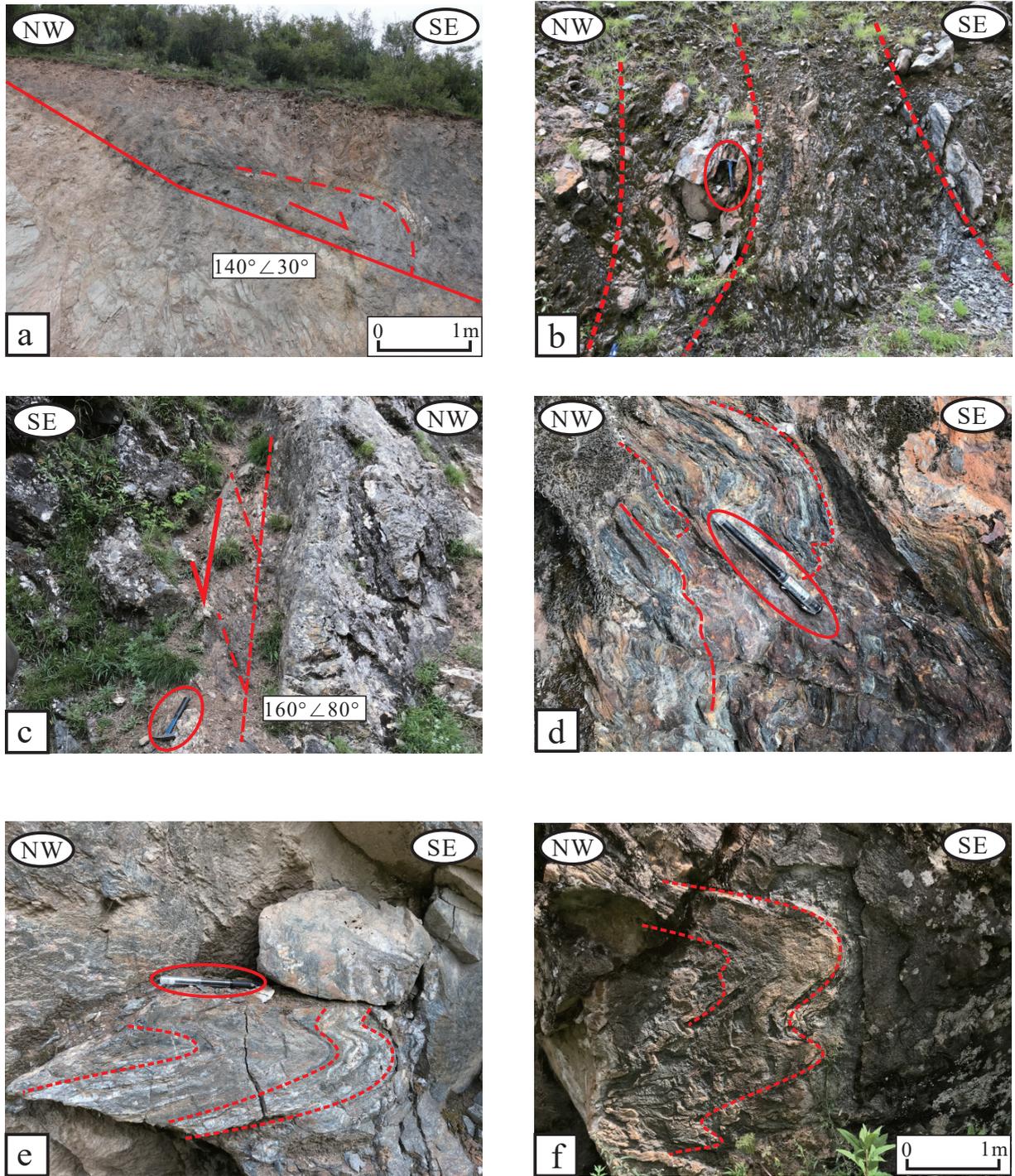
皱(图4d-e)。能干性的差异导致千枚岩中发育的平卧褶皱翼间角小于片岩中发育的褶皱翼间角(图4f),平卧褶皱的长翼指向短翼的方向与其下部的韧性拆离带的运动学方向一致,由此可以判断吉塘变质核杂岩为典型的“三元结构”。韧性流变层为基底韧性拆离断层与沉积盖层之间的主滑脱带(图3)。

吉塘变质核杂岩的韧性流变层中,其北东端接近核部变质杂岩的位置发育韧性拆离带,远离韧性拆离带其岩石类型以板岩、千枚岩等低级变质岩为主,近拆离带主要发育构造片岩;近拆离带的岩石变质程度强,且以韧性变形为主,而远离拆离带变质程度弱,以脆性变形为主,构造变形强弱规律性明显(图3)。受到后期变形的影响,部分位置可见有后期直立水平褶皱变形对平卧剪切褶皱进行叠加改造的现象。

2.3 核部变质杂岩(含韧性拆离带)

核部变质杂岩主要由吉塘岩群片麻岩及其中多期侵入岩、脉体组合而成。核部变质杂岩与上部韧性流变层之间以韧性拆离带相连(图3)。吉塘岩群变质杂岩主要由二云二长片麻岩、黑云母二长片麻岩,黑云母斜长片麻岩、黑云母片麻岩、花岗片麻岩、混合花岗岩及角闪岩组成(王根厚, 2006),原岩为一套沉积岩(陈奇, 2019)。核部变质杂岩上部的韧性拆离带由发生韧性变形的西西片岩(韧性流变层)与变质杂岩组成。

韧性拆离带在滨达乡、锅雪普及若巴乡均有



a. 沉积盖层石英砂岩中的低角度正断层；b. 板岩顶部完整断层带；c. 板岩顶部断层破碎带；d. 千枚岩中发育的褶皱；e. 千枚岩中发育的平卧剪切褶皱；f. 片岩中发育的平卧剪切褶皱

图4 锅雪普剖面中千枚岩及折叠层变形特征

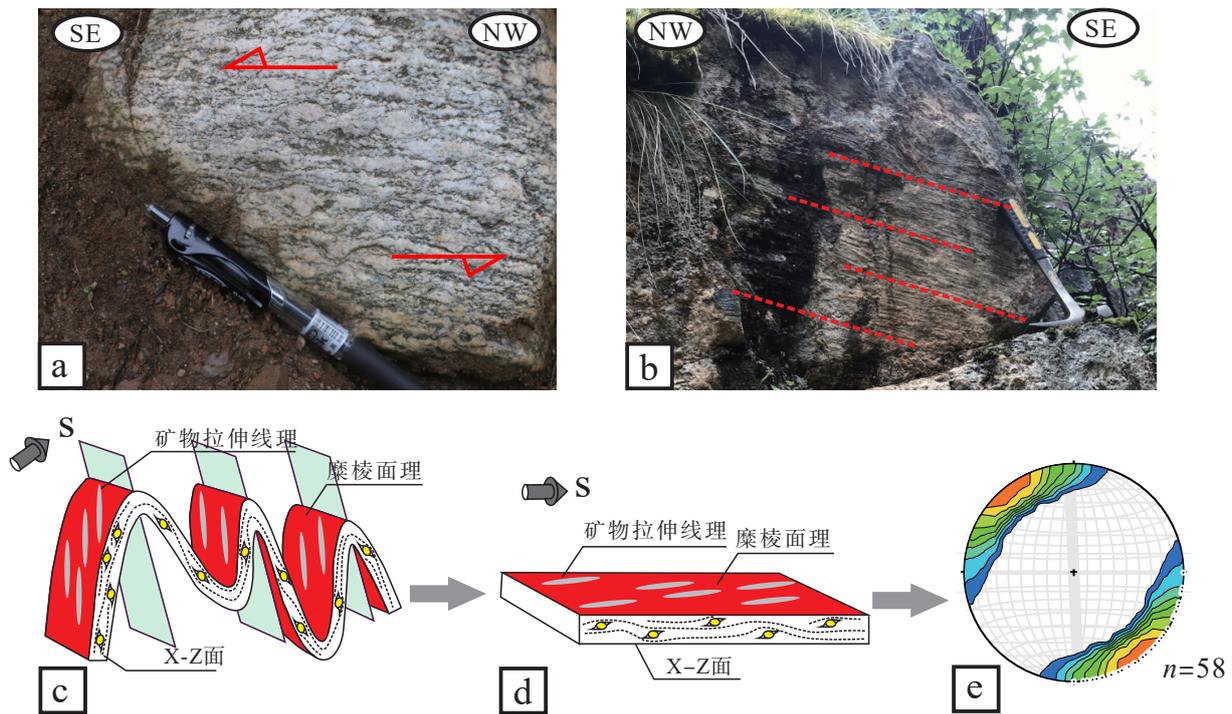
Fig. 4 Deformation characteristics of phyllite and the flattening fold part in Guoxuepu section

出露,其中滨达乡研究点的主要研究对象为核部变质杂岩及其上部拆离带中的糜棱岩带部分;若巴乡研究点主要研究对象为韧性拆离带中的初糜棱岩带及少部分的糜棱岩带;锅雪普观测点的北东段为

韧性拆离带中糜棱岩化带及少部分初糜棱岩带。

3 韧性拆离带构造变形特征

吉塘变质核杂岩中的韧性拆离剪切带整体走



a. 滨达乡糜棱岩叶理面特征；b. 发育于滨达乡糜棱面理之上的矿物拉伸线理；c. 被后期褶皱叠加的糜棱面理；d. 展平之后的糜棱面理；e. 展平之后的矿物拉伸线理产状

图5 滨达乡韧性剪切带面理及线理特征

Fig. 5 The characteristics of foliation and lineation of the Bindaxiang ductile shear zone

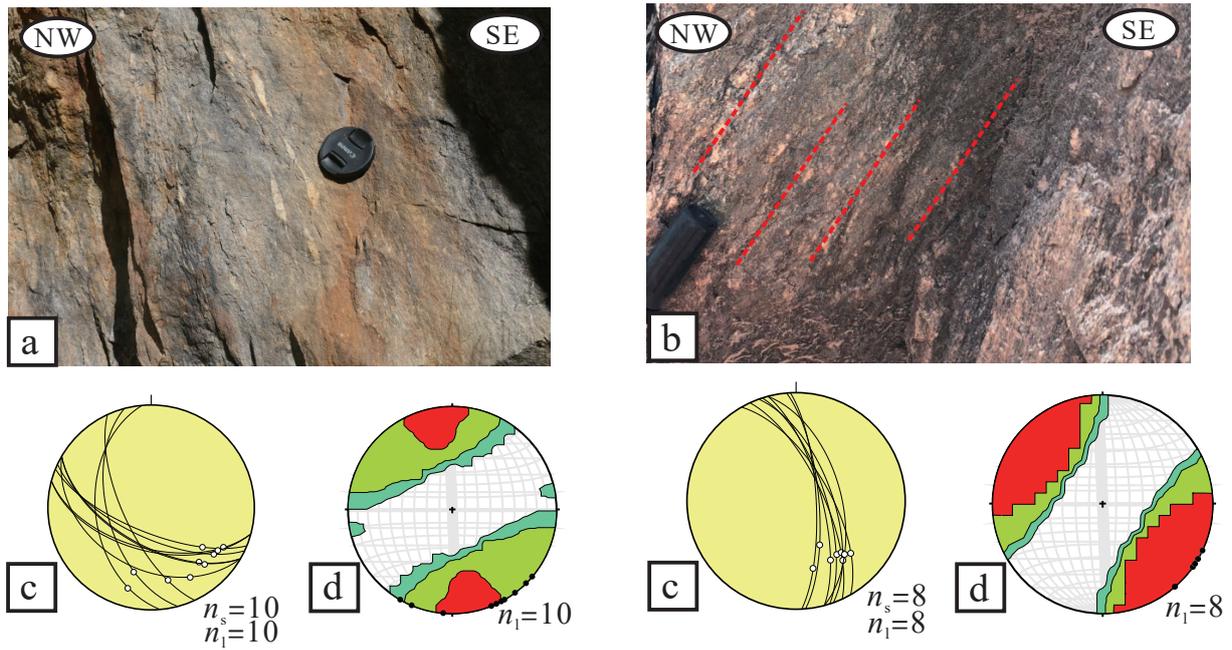
向为北西—南东向,沿核部变质杂岩及韧性流变层之间展布,长约75 km,宽约8 km。在滨达乡一带,主要岩性为黑云二长片麻岩、二云二长片麻岩及混合花岗岩发生糜棱岩化作用形成的糜棱岩,其糜棱面理XZ面形成的大量的韧性指示标志,以不对称的长英质条带及长石旋转碎斑为主(图5a),矿物拉伸线理发育较为清晰,主要以长英质矿物及定向排列的云母表现出来(图5b)。受到后期造山作用的影响,糜棱面理多发生褶皱作用,将面理产状展平之后(图5c-d),取得此处的拉伸线理产状为北西—南东向(图5e)。根据岩石的变质矿物共生组合(斜长石+石英+黑云母)判断,该处岩石主要发生角闪岩相的变质作用。

在若巴乡一带主要发育由石英闪长岩及二云二长片麻岩发生糜棱岩化作用而形成的糜棱岩化带及初糜棱岩带(图6)。该处叶理面上发育的韧性指示标志主要由不对称的长英质脉体表现出来(图2a),偶见有长石旋转碎斑。矿物拉伸线理同样是由定向拉长的云母及长英质矿物组成(图2b)。糜棱面理受到后期褶皱作用影响分为两组:第一组的糜棱面理优势产状为 $230^{\circ}\angle 50^{\circ}$ (图2c),矿物拉

伸线理优势产状为 $160^{\circ}\angle 30^{\circ}$ (图2d);第二组糜棱面理优势产状为 $80^{\circ}\angle 60^{\circ}$ (图2e),矿物拉伸线理优势产状为 $160^{\circ}\angle 40^{\circ}$ (图2f)。

锅雪普一带,从西端发育糜棱岩化片岩向北东端逐渐过渡到初糜棱岩,糜棱面理上韧性指示标志非常发育(图7a),矿物拉伸线理主要由定向排列的长石及云母组成(图7b)。该点处糜棱面理产状为 $105^{\circ}\angle 35^{\circ}$ (图7c),矿物拉伸线理产状为: $165^{\circ}\angle 20^{\circ}$ (图7d)。整体来看,自核部变质基底向其顶部变质程度逐渐变弱(角闪岩相—低绿片岩相),韧性变形程度减弱(糜棱岩带—初糜棱岩带—糜棱岩化带)。

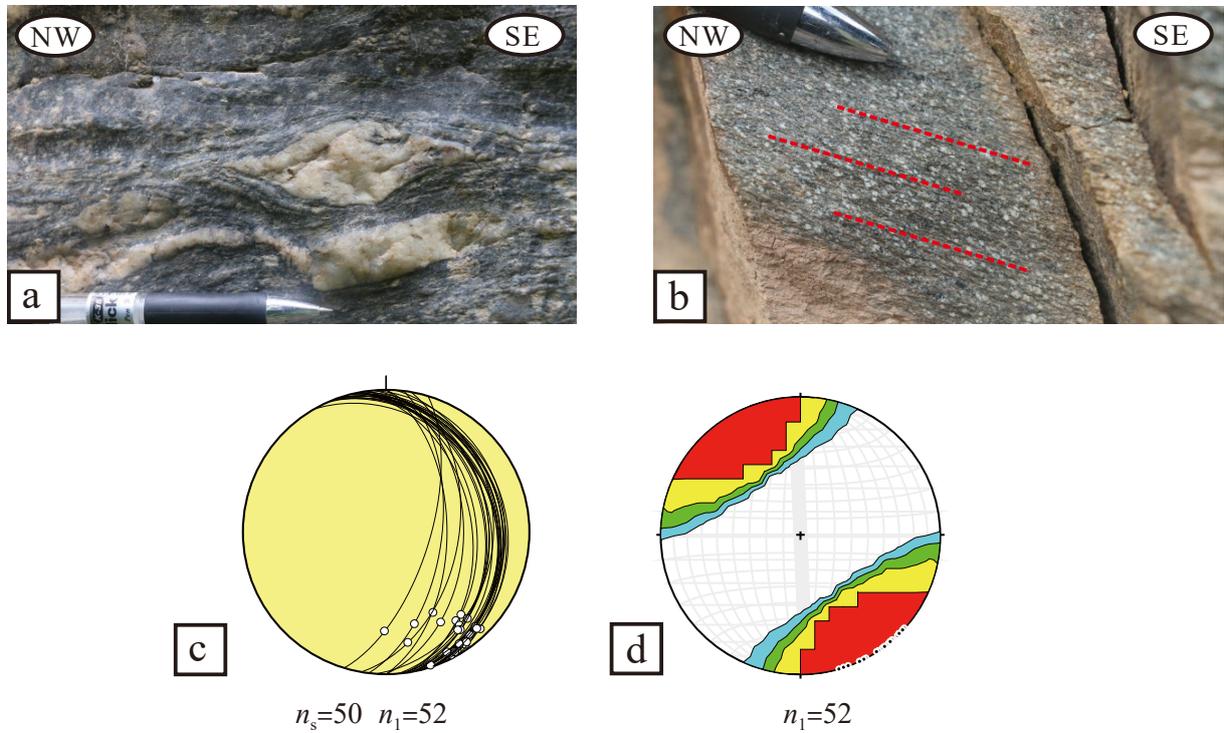
吉塘变质核杂岩韧性拆离带中发育着大量的韧性指示标志。露头尺度上,长石旋转碎斑最为常见,其中大部分为露头尺度的“ σ ”型旋转碎斑(图8a),偶见“ δ ”型旋转碎斑(图8b)。碎斑的主要成分为斜长石,细粒化组分沿糜棱面理方向延伸形成拖尾。S-C组构在糜棱岩化带中较为常见(图8c),长石发生旋转,其长轴形成S面理,细粒化的长石、石英及云母共同组成C面理(糜棱面理),二者之间的锐夹角指示顶面向南东方向剪切。长英



a. 若巴乡初糜棱岩叶理面特征；b. 发育于若巴乡初糜棱面理之上的矿物拉伸线理；c. 第一组糜棱面理及矿物拉伸线理产状；d. 第一组矿物拉伸线理展平产状；e. 第二组糜棱面理及矿物拉伸线理产状；f. 第二组矿物拉伸线理展平产状

图 6 若巴乡韧性剪切带面理及线理特征

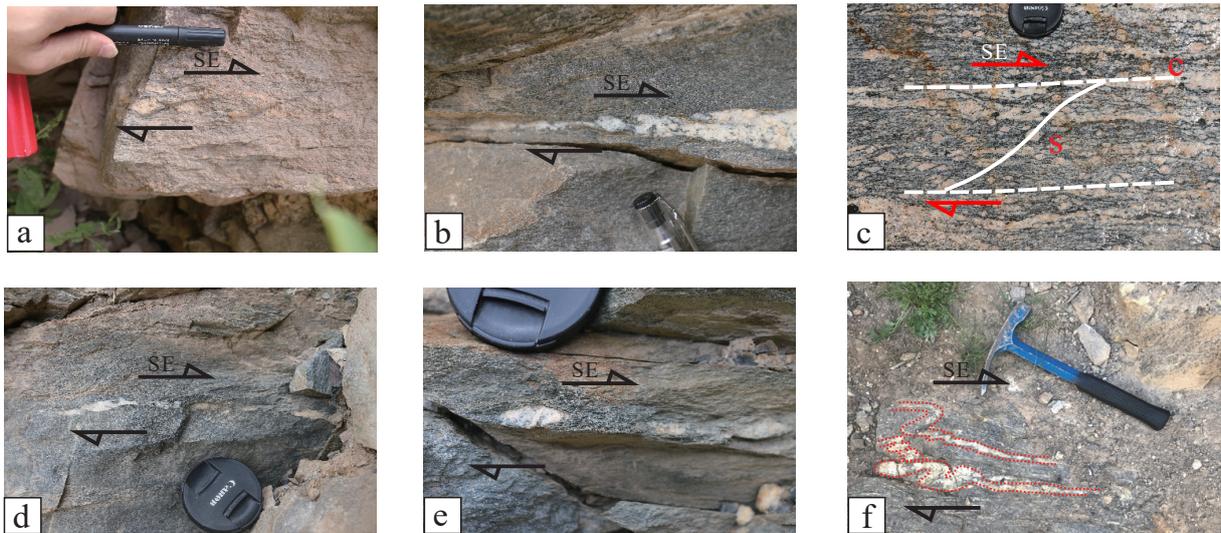
Fig. 6 The characteristics of foliation and lineation of the Ruobaxiang ductile shear zone



a. 锅雪普长英质初糜棱岩叶理面特征；b. 发育于滨达乡糜棱面理之上的矿物拉伸线理；c. 糜棱面理及矿物拉伸线理产状；d. 矿物拉伸线理展平产状

图 7 锅雪普韧性剪切带面理及线理特征

Fig. 7 The characteristics of foliation and lineation of the Guoxuepu ductile shear zone



a. “ σ ”型旋转碎斑；b. “ δ ”型旋转碎斑；c. S-C 结构；d. 不对称长英质条带；e. 斜长石“矿物鱼”；f. 长英质脉体不对称褶皱

图 8 运动学指示标志的宏观特征

Fig. 8 The outcrop-scale characteristics of shear sense indicators

质不对称条带在长英质初糜棱岩中较为发育(图 8d), 主要由少量斜长石和大量石英集合体组成, 为良好的运动学指示标志。斜长石受到韧性变形形成“矿物鱼”(图 8e), 指示顶面向南东方向剪切; 长英质的脉体受韧性剪切作用形成不对称褶皱, 其长翼到短翼的方向即为剪切方向(图 8f), 指示顶面向南东方向剪切。露头尺度的运动学指示标志表明, 韧性拆离带的剪切方向为上盘向南东方向剪切。

对于韧性剪切带的运动学特征的研究工作, 一般先通过野外观察来分析运动学指示标志特征, 室内则要着重进行显微构造研究, 对野外观察到的现象进行验证。首先对采集的定向样品进行切片, 本次研究工作的制片工作在中国地质大学(北京)制片室进行, 平行矿物拉伸线理垂直糜棱面理切片为 X-Z 面; 垂直矿物拉伸线理, 平行糜棱面理切片为 Y-Z 面。通过对样品的 X-Z 面和 Y-Z 面中发育的运动学指示标志的统计, 并对这些韧性指示标志的定向薄片进行产状恢复, 从而厘定韧性拆离带的运动学方向。

显微尺度下, 图 9a 中展示了石英集合体形成的 S 面理与云母及细粒化的石英长形成的 C 面理, 共同组成 S-C 结构, 指示了韧性拆离带呈顶面向南东方向剪切的运动学特征(图 9a)。糜棱岩化片岩及糜棱岩中, 细粒化的石英、长石及云母颗粒围绕

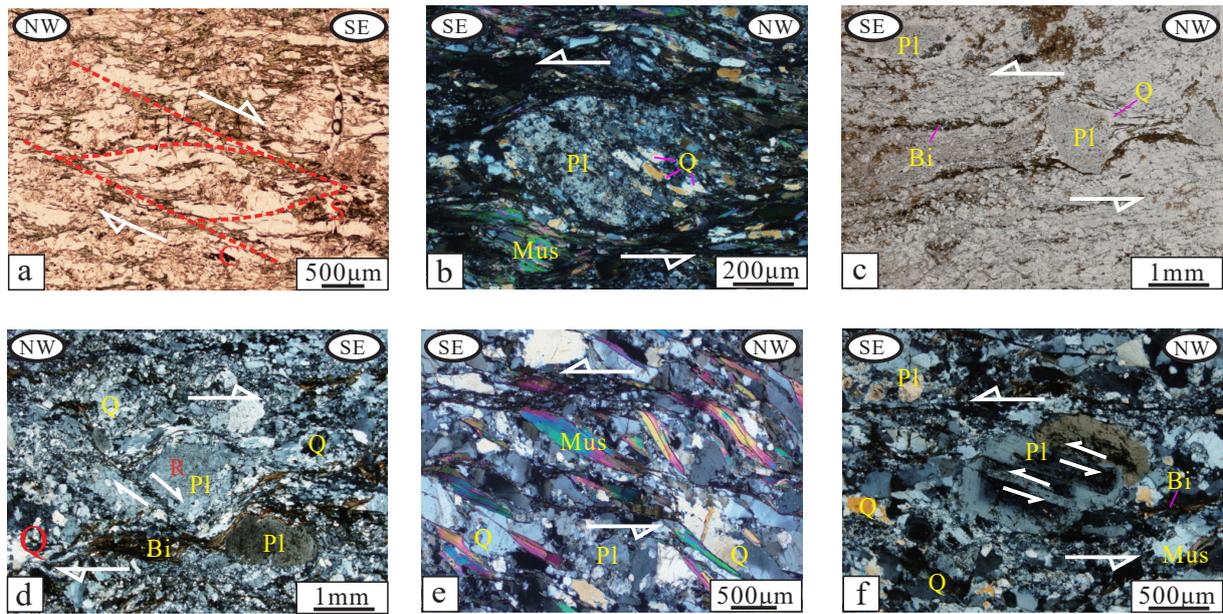
长石残斑旋转, 形成旋转碎斑的拖尾(图 9b-c)。斜长石在剪切过程中发生 R 剪切破裂, 剪切破裂的方向可以用于帮助判断韧性拆离带的剪切方向(图 9d)。在糜棱岩化二云二长片麻岩中, “云母鱼”构造较为常见, 指示顶面向南东方向剪切(图 9e)。斜长石受到韧性剪切作用, 沿双晶面滑移, 形成书斜构造, 指示顶面向南东方向剪切(图 9f)。

4 年代学分析

4.1 样品描述

滨乡剪切带中的花岗质糜棱岩因受到韧性剪切变形, 形成旋转碎斑及糜棱面理(图 10a), 由于后期的褶皱作用使糜棱面理发生了弯曲(图 10b)。采集此处花岗质糜棱岩的定向样品(8.18Db12), 显微尺度下观察, 该样品发生了强烈的韧性变形(图 10c)。褶皱的翼部被后期的长英质脉体所截切(图 10d), 在此处采集后期长英质脉体样品(8.18Db1), 采样位置见图 10e。

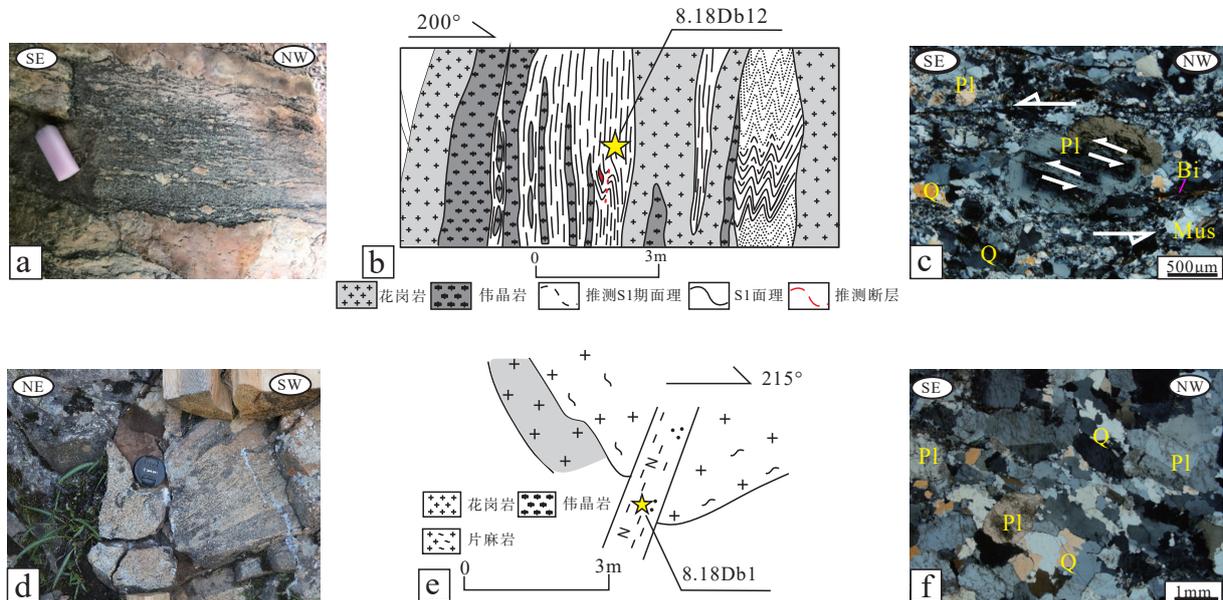
花岗质糜棱岩(8.18Db12)主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成。斜长石多发生韧性变形形成残斑, 较少部分呈他形粒状, 粒径一般 0.1~1.0 mm, 集合体多呈条纹状、线纹状等聚集定向分布。石英呈他形粒状, 多被拉长形成丝带, 粒径一般 0.02~0.5 mm, 集合体主要呈条纹状、弯曲条纹状等聚集, 显定向拉长特征, 常见绕斜长石残斑旋



a. 糜棱岩化二云二长片麻岩中 S-C 组构; b. 初糜棱岩长石左行旋转碎斑; c. 花岗质糜棱岩中的斜长石旋转碎斑; d. 花岗质糜棱岩中的 R 剪切破裂; e. 糜棱岩化二云二长片麻岩的云母鱼; f. 花岗质糜棱岩中的斜长石书斜构造。Q—石英; Pl—斜长石; Mus—白云母; Bi—黑云母。a、c 为单偏光照片, b、d、e、f 为正交偏光照片

图 9 运动学指示标志的显微特征

Fig. 9 The micro-scale characteristics of shear sense indicators



a. 花岗质糜棱岩露头特征; b. 花岗质糜棱岩采样位置 (图 a 的素描图); c. 花岗质糜棱岩显微特征 (正交偏光); d. 长英质脉体露头特征; e. 长英质脉体采样位置 (图 d 的素描图); f. 长英质脉体显微特征 (正交偏光)。Q—石英; Pl—斜长石; Mus—白云母; Bi—黑云母

图 10 锆石 U-Pb 测年样品特征及采样位置

Fig. 10 The characteristics and locations of the samples for zircon U-Pb dating

转拉长现象。部分小颗粒石英似穿孔状、似残缕状等分布于变余斜长石残斑粒内。可以观察到斜

长石受韧性剪切变形作用影响,沿双晶裂开相对滑动,形成书斜构造(图 10c)。Searle(2006)根据岩脉

与剪切带的穿切关系,将岩脉划分成剪切前、同剪切和剪切后三种类型。露头尺度下,可以观察到花岗质糜棱岩显示出了强烈的叶理化特征,并且叶理产状与围岩协调,而围岩中完全未见韧性变形特征,仅面理化带中变形明显(图 10a-b)。因此,据 Searle (2006)提出的划分细则,花岗质糜棱岩(8.18Db12)显示了同剪切花岗岩的特征。

长英质脉体(8.18Db1)宏观露头处显示了脉壁平直且延伸稳定的特征,切过了早期的糜棱岩(混合花岗岩)(图 10d-e)。显微尺度下,岩石主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成。斜长石呈近半自形板状,部分隐约可见环带构造,未发现韧性变形特征(图 10f)。钾长石呈半自形板状-他形粒状。石英呈他形粒状,粒径一般 0.05~2.0 mm,石英集合体多分布于长石粒间。黑云母呈鳞片-叶片状,片径一般小于 1.3 mm,集合体多呈断续线纹状、弯曲线纹状聚集,零散定向分布,局部发育绿泥石化、白云母化。显微构造显示,该长英质脉体为剪切后脉体。

4.2 实验方法

锆石的单矿物挑选工作在河北区域地质调查院实验室进行,锆石 U-Pb 定年工作在中国地质大学(北京)矿物激光微区分析实验室(Milma Lab)通过 LA-ICP-MS 方法完成。实验中,采用 NewWave 193UC 型 ArF 准分子激光器进行剥蚀取样,Angilent 7900 四级杆型等离子质谱仪测试离子信号强度。

实验过程中采用 NIST 610 作为元素含量外标,锆石 91500(Wiedenbeck et al., 2004)作为 U-Pb 同位素比值外标,锆石 GJ-1(Jackson et al., 2004)和 Plesovice(Slama et al., 2008)作为未知样品的数据质量监控标来进行分析。一组样品(小于 100 点)一般测试 2~3 个 NIST 610,每组样品有数个循环,每个循环内有 2 个外标 91500、1 个监测标 Plesovice 和 1 个监测标 GJ-1 以及 6 到 10 个样品(根据样品性质不同决定样品和监测标比例)。每个点位的分析时间是 100s,首先是 20s 的背景空白,然后是 50s 的样品剥蚀时间,其余时间为信号稳定时间,以保证下一个样品的正常分析。样品分析时,实时监测²⁹Si、⁹¹Zr、²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pb、²³²Th 和 ²³⁸U 等信号强度,以满足灵敏度要求且信号稳定,信号强度变化趋势相同为要求。每个点位的数据首先通过

Angilent ICP-MS 内置的 MassHunter 软件来进行转化,生成每个点位的信号-时间关系文件。数据处理采用 ICPMSDataCal 软件(Hu et al., 2012),同位素比值及年龄误差均为 1 σ 。普通铅采用 Andersen (Andersen T, 2002)程序进行校正,谐和图和年龄均值图均采用 Isoplot 软件(Ludwig K R, 2003)进行绘制。

4.3 分析结果

花岗质糜棱岩(8.18Db12)的锆石颜色多为浅黄色—无色,总体形态以棱角状为主(图 11a)。所获取的锆石核部 Th/U 比值为 0.37~0.79,边部 Th/U 比值为 0.02~0.29,反映锆石成分较为复杂,核部代表较早期结晶年龄,边部代表较晚期变形年龄(Hoskin and Schaltegger, 2003)。根据总体的锆石形态来看,锆石自形程度较高,锆石的外部环带发育较好,长度在 65~265 μm 之间,宽度在 25~80 μm 之间,长宽比在 6:1~1:1.5 的范围内。选取花岗质糜棱岩样品 8.18Db12 内的 32 颗锆石做测试(图 11a)。11 个核部年龄在 34~31 Ma 范围内,谐和线集中分布(图 11b),其²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 (33.0 \pm 1.2) Ma(MSWD=0.13)(图 11c)。19 个边部锆石年龄在 29~28 Ma 范围(图 11d),其²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 (28.4 \pm 0.6) Ma(MSWD=0.14)(图 11e)。数据结果见附表 1*。

于长英质脉体样品(8.18Db1)中挑选了 36 颗锆石进行测试分析。长英质脉体(8.18Db1)的锆石颜色多为无色,总体形态以棱角状为主,环带及平行纹理清晰(图 12a)。所获取的锆石 Th/U 比值为 0.2~0.75,为典型的岩浆成因锆石(Hoskin and Schaltegger, 2003)。根据总体的锆石形态来看,锆石自形程度较高,环带发育较好,锆石长度在 95~200 μm 之间,宽度在 35~90 μm 之间,长宽比在 5:1~1:2 的范围内,显示其岩浆锆石的成因。岩浆锆石中 15 个数据点在 19.5~18.2 Ma 范围内,谐和线集中分布,全部为锆石边部的年龄,其²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 (18.35 \pm 1.2) Ma(MSWD=1.5)(图 12c)。数据结果见附表 2*。

5 讨论

吉塘变质核杂岩具有漫长的隆升历史,王根厚(2006)在西西构造片岩中的多硅白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年得到了 230 Ma 的年龄,并且根据西西岩组中

*数据资料请联系编辑部或登录期刊官网 <https://www.cjyttdz.com.cn/>获取。

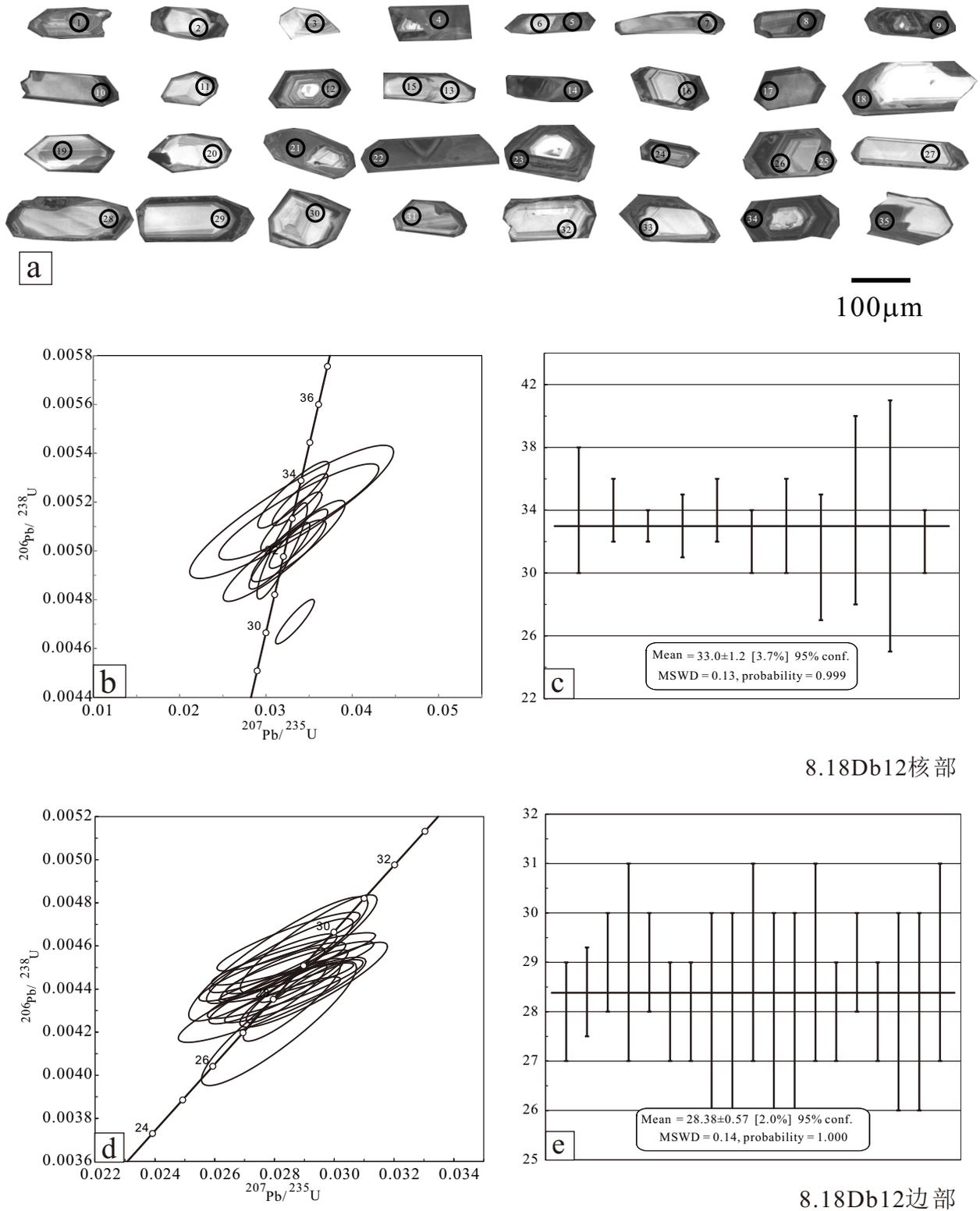


图 11 样品 8.18Db12 锆石阴极发光特征 (a) ; 锆石 U-Pb 年龄谐和图 (b、d) 及加权平均年龄图 (c、e)
 Fig. 11 CL images of sample 8.18Db12 (a); LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of sample 8.18Db12 (b, d) and weighted averages of sample 8.18Db12 (c, e)

发育的拉伸线理的走向与变质杂岩的展布方向斜交的特点, 认为吉塘变质核杂岩在中生代的隆升与

古特提斯洋(北澜沧江洋)右行拉分裂离形成的伸展事件相关。该期伸展事件导致了吉塘变质核杂

岩中的变质基底在中生代剥露,随后,三叠纪以来的地层角度不整合于其上。但新生代以来吉塘变质核杂岩的隆升历史却处于研究空白区,研究区以南的三江构造带报道了大量新生代以来的构造、岩浆事件。自 Tapponnier(1982)提出巽他地块逃逸模型以来,众多学者在此基础上开展了研究工作,普遍认为藏东南地区(巽他地块)在印度-欧亚大陆后碰撞阶段物质整体向南东方向发生大规模逃逸(Tapponnier et al., 1986, 1990; Leloup et al., 1995, 2001; Morley, 2002; 刘俊来等, 2006; Liu et al., 2010, 2015)。哀牢山-红河构造带和高黎贡山-实皆构造带作为巽他地块东部边界和西部边界研究程度较高(Tapponnier et al., 1990; Leloup et al., 1995, 2001)。

研究区南部的三江构造带的中南段,扬子板块西南缘出露了哀牢山-红河韧性剪切带中四个典型变质杂岩体(雪龙山、点苍山、哀牢山、瑶山-大象山)。同吉塘变质核杂岩一样,这四个杂岩体及沿着高黎贡-实皆构造带展布的高黎贡杂岩(Zhang et al., 2012; Xu et al., 2015)的变质基底均隶属于新元古代,并经历了新元古代变质作用-混合岩化作用的改造(刘俊来等, 2008)。随着对哀牢山-红河断裂带的研究工作的不断开展,该剪切带新生代以来的构造演化过程逐渐被建立起来。哀牢山红河断裂小型构造与显微构造分析,以及对于其中花岗质脉体中锆石、独居石、黑云母、白云母、钾长石等矿物开展的 U-Pb 和⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年结果表明,红河-哀牢山剪切带大规模左行走滑发生于距今 35 Ma 至 12 Ma 之间(Tapponnier et al., 1990; Leloup et al., 1995, 2001a; Wang et al., 2001; Zhang and Schärer, 1999; Gilley et al., 2003)。前人的年代学数据表明:第一期左行走滑为 58~56 Ma(董彦龙, 2013),可能对应印度与欧亚大陆距今 60 Ma 左右的初始碰撞(唐渊, 2016);第二期变形为 27~22 Ma,与青藏高原最强的挤压隆升期一致;第三期事件为 13~12 Ma 左右(季建清, 2000),可能代表自 16~13 Ma 开始的青藏高原物质进一步东涌。刘俊来等(2011)认为印度-欧亚板块之间的交互作用时期,哀牢山地区相继发生了古新世以来的收缩造山、晚渐新世-早中新世区域性造山后伸展和晚渐新世-早中新世印支地块的大规模南东向逃逸过程,并产生了与左行走滑剪切作用同时期的钙碱性岩浆活动。高黎贡杂岩则从 32 Ma 以来不断经历剥露过程,这个过程一直持续到 1 Ma(董彦龙,

2013)。与此同时,印度板块与欧亚板块的碰撞及伴生的高原隆升作用使得青藏高原东南缘发育了一系列由大型走滑断裂带控制的新生代沉积盆地,呈北西-南东向展布,自北西向南东依次为囊谦-玉树盆地(38~37 Ma, Li et al., 2018)、贡觉盆地(50~43 Ma, Tang et al., 2017; 54~50 Ma, Xiong et al., 2020; 44~40 Ma, Xiong et al., 2020)、芒康盆地(35~33 Ma, Su et al., 2018; Li et al., 2015)、剑川盆地(约 36 Ma, Wu et al., 2018)、兰坪-思茅盆地(约始新世, Hoke et al., 2014)。

滇西巽他地块大量的新生代走滑断层活动,伴生了大量的同构造岩浆活动。该伸展拆离过程使得中-新元古代的古老变质杂岩被剥露,联系藏东南地区大量发育的大型走滑断裂控制的新生代盆地与伴生的新生代岩浆活动,使得位于北澜沧江缝合带的吉塘变质核杂岩新生代的隆升剥露过程和属性成为了重要的科学问题。本次研究工作,在吉塘变质核杂岩中获得的同剪切花岗质糜棱岩的锆石 U-Pb 年龄为 (33.0±1.2) Ma ~ (28.4±0.6) Ma, 剪切后脉体的锆石 U-Pb 年龄为 (18.35±1.2) Ma, 结合运动学特征推测其演化过程为:印度-欧亚板块的后碰撞阶段,走滑断层活动强烈,研究区内的滨达-若巴断裂呈北西向展布,分布于核部变质杂岩北东、南西两侧,发生强烈的左行走滑运动。由于走滑断层的作用,在中间部位形成伸展环境,将核部变质杂岩拉分出来,并逐渐在核部变质杂岩顶部形成顶面向南东单向拆离的锅雪普-若巴乡-滨达乡韧性拆离带。随即在吉塘变质杂岩中发育了大量同构造或构造后的花岗岩及长英质脉体(图 13b)。拉伸环境导致地壳减薄并产生了大量下地壳部分熔融的岩浆上涌,最终形成了吉塘变质核杂岩于渐新世-中新世的隆升表露过程(图 13b),并在全新世时期受到了羊达-亚许断裂的截切改造(Ren et al., 2022; 韩明明等, 2022)。

运动学研究表明,吉塘变质核杂岩中代表着新生代韧性拆离运动的锅雪普-若巴乡-滨达乡韧性剪切带具有顶面向南东方向运动的特征,与该时期研究区南部的巽他地块南东向逃逸运动学方向一致。据此判断,新生代以来位于北澜沧江缝合带的吉塘变质核杂岩与巽他地块中众多变质杂岩具有相似的形成机制,即吉塘变质核杂岩新生代代表露过程为印度-欧亚大陆后碰撞阶段,物质向南东方向逃逸以调节碰撞过程的产物(图 13),并在全新世

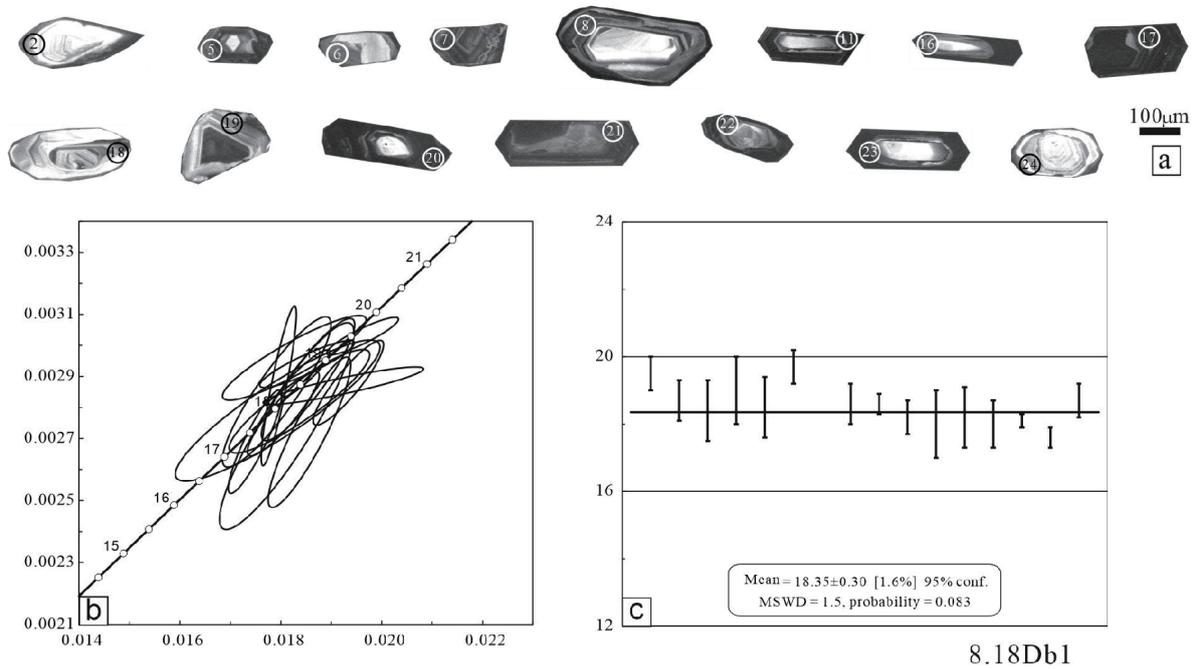
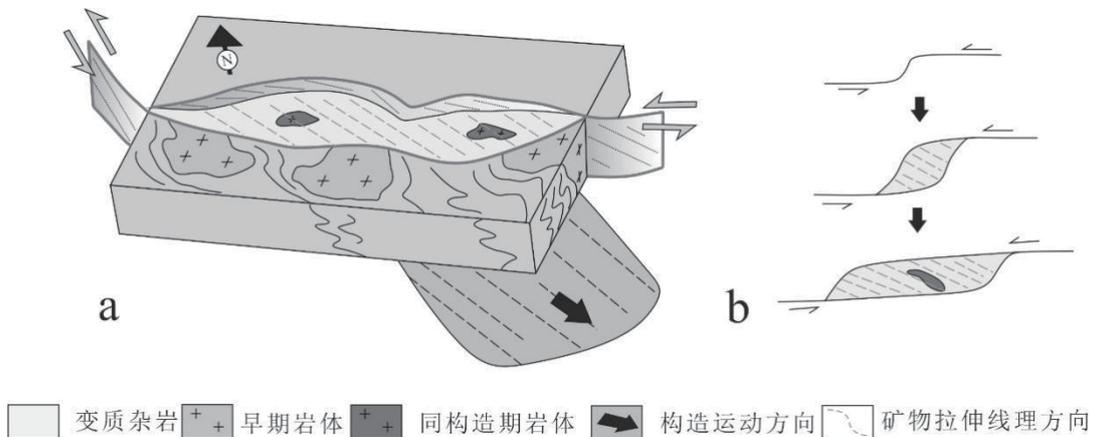


图 12 样品 8.18Db1 锆石阴极发光特征 (a)、锆石 U-Pb 年龄谐和图 (b) 及加权平均年龄图 (c)

Fig. 12 CL images of sample 8.18Db1 (a); LA-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of sample 8.18Db1 (b) and weighted averages of sample 8.18Db1 (c)



a. 吉塘杂岩渐新世走滑断层拆离模型 3D 模式图; b. 走滑断层拆离模型平面图

图 13 吉塘变质杂岩渐新世拆离成因模型

Fig. 13 Detachment model of Jitang metamorphic core complex in Oligocene

时期受到羊达亚许断裂的改造。

6 结论

(1) 位于类乌齐南东的吉塘变质核杂岩中发育包含沉积盖层, 韧性流变层及核部变质杂岩(含上部韧性拆离带)的“三元结构”。结合韧性拆离带内的运动学指示标志特征及矿物拉伸线理产状分

析, 韧性拆离带的运动学特征为上盘向南东方向剪切。

(2) 本次研究工作在吉塘变质核杂岩中识别出了渐新世的锆石 U-Pb 年龄为 $(33.0 \pm 1.2) \text{ Ma} \sim (28.4 \pm 0.6) \text{ Ma}$ 的同剪切花岗质糜棱岩, 以及中新世的锆石 U-Pb 年龄为 $(18.35 \pm 1.2) \text{ Ma}$ 的剪切后长英质脉体。结合韧性拆离带运动学特征推测: 新生代初期,

强烈的走滑断层活动形成了拉分盆地,其伸展环境使地壳减薄,大量岩浆上涌,最终导致了吉塘变质核杂岩于渐新世—中新世的隆升。吉塘变质核杂岩为渐新世—中新世大型走滑断层作用导致的区域性造山后伸展及大规模南东向逃逸构造事件的产物。

致谢: 诚挚感谢野外工作中,中国地质调查局成都地质调查中心高原室老师们的大力支持!本研究的实验分析工作得到了中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室相关工作人员的支持和帮助。由衷感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见以及编辑部老师对文章的精心校稿!

注释:

- ① 西藏自治区地质调查院, 2007. 囊谦县幅 147C004001 昌都县幅 H47C001001 江达县幅 H47C001002 1: 25 万区域地质调查报告 [R]. 全国地质资料馆.
- ② 西藏自治区地质矿产局, 1999. 洛隆幅、昌都幅 1: 20 万区域地质调查报告 [R]. 全国地质资料馆.

References

- Ai C X, Chen B W, 1986. Discussion on the geological age of Jiayuqiao Group and Jitang Group in eastern Tibet[J]. *Tibet Geology*, (1): 13–17 (in Chinese with English abstract).
- Andersen T, 2002. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. *Chemical Geology*, 192 (1-2): 59–79.
- Bai T, Fan B L, Xiao X, et al., 2019. The Eocene magmatism and mineralization of Xiari duo rocks in the northern Yulong porphyry copper belt, Tibet: Evidence from zircon U–Pb geochronology and geochemistry[J]. *Geological Bulletin of China*, 38 (2/3): 308–327 (in Chinese with English abstract).
- Chen Q, Wang C M, Du B, et al., 2019. Zircon LA–ICP–MS U–Pb dating and geochemistry of the Jitang metamorphic complex in eastern Tibet and their geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 35 (5): 1423–1446 (in Chinese with English abstract).
- Dong Y L, 2013. Gaoligong metamorphic complex: Rock formation and tectonic evolution, western Yunnan[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Gilley L D, Harrison T M, Leloup P H, et al., 2003. Direct dating of left–lateral deformation along the Red River shear zone, China and Vietnam[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108 (B2): 2127.
- Han M M. Late Quaternary activity of the Bangda segment along the Nujiang Fault Zone[D]. Beijing: Institute of Seismology, China Earthquake Administration (in Chinese with English abstract).
- Hoke G D, Liu Z J, Hren M T, et al., 2014. Stable isotopes reveal high southeast Tibetan Plateau margin since the Paleogene[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 394: 270–278.
- Hoskin P, Schaltegger U, 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53 (1): 27–62.
- Hu P Y, Li C, Li J, et al., 2014. Zircon U–Pb–Hf isotopes and whole–rock geochemistry of gneissic granites from the Jitang complex in Leiwuqi area, eastern Tibet, China: Record of the closure of the Paleo–Tethys Ocean[J]. *Tectonophysics*, 623: 83–99.
- Hu Z C, Liu Y S, Gao S, et al., 2012. Improved in situ Hf isotope ratio analysis of zircon using newly designed X skimmer cone and jet sample cone in combination with the addition of nitrogen by laser ablation multiple collector ICP–MS[J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 27 (9): 1391–1399.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al., 2004. The application of laser ablation–inductively coupled plasma–mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology[J]. *Chemical Geology*, 211 (1-2): 47–69.
- Ji J Q, Zhong D L, Zhang L S, 2000. Kinematics and dating of Cenozoic strike–slip faults in the Tengchong area, west Yunnan: Implications for the block movement in the southeastern Tibet Plateau[J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, (3): 336–349 (in Chinese with English abstract).
- Leloup P H, Arnaud N, Lacassin R, et al., 2001. New constraints on the structure, thermochronology, and timing of the Ailao Shan–Red River shear zone, SE Asia[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106 (B4): 6683–6732.
- Leloup P H, Lacassin R, Tapponnier P, et al., 1995. The Ailao Shan–Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina[J]. *Tectonophysics*, 251 (1-4): 3–84.
- Li C, 1987. The Longmucuo–Shuanghu–Lancangjiang plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Permo–Carboniferous system in northern Xizang, China[J]. *Journal of Changchun College of Geology*, 17 (2): 155–166 (in Chinese with English abstract).
- Li C, 2008. A review on 20 years' study of the Longmu Co–Shuanghu–Lancang River suture zone in Qinghai–Xizang (Tibet) Plateau[J]. *Geological Review*, 54 (1): 105–119 (in Chinese with English abstract).
- Li C, Xie Y W, Dong Y S, et al., 2009. Discussion on the age of Jitang Group around Leiwuqi area, eastern Tibet, China and primary understanding[J]. *Geological Bulletin of China*, 28 (9): 1178–1180 (in Chinese with English abstract).
- Li L, Garzzone C N, Pullen A, et al., 2018. Late Cretaceous–Cenozoic basin evolution and topographic growth of the HohXil Basin, central Tibetan plateau[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 130 (3-4): 499–521.
- Li S Y, Currie B S, Rowley D B, et al., 2015. Cenozoic paleoaltimetry of the SE margin of the Tibetan plateau: Constraints on the tectonic evolution of the region[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 432: 415–424.
- Lin B, Wang L Q, Tang J X, et al., 2017. Zircon U–Pb geochronology of ore–bearing porphyries in Baomai deposit, Yulong copper belt, Tibet[J]. *Earth Science*, 42 (9): 1454–1471 (in Chinese with English abstract).

- Liu D M, 2003. Review of the basic characteristics of the metamorphic core complexes in China[J]. *Geoscience*, (2): 125 – 130 (in Chinese with English abstract).
- Liu J, Li W C, Zhou Q et al., 2022. Tectonic evolution and mineralization of the Leiwuqi Zogang metallogenic belt[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42 (1): 88 – 104 (in Chinese with English abstract).
- Liu J L, Chen X Y, Wu W B, et al., 2015. 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*, 103: 70 – 86.
- Liu J L, Tang Y, Xia H R, et al., 2010. High temperature strain structures and quartz c-axis fabrics from mylonitic rocks in the Ailaoshan–Red River shear zone, Yunnan and their tectonic implication[J]. *Geologica Sinica (English Edition)*, 84 (6): 1377 – 1390.
- Liu J L, Song Z J, Cao S Y, et al., 2006. The dynamic setting and processes of tectonic and magmatic evolution of the oblique collision zone between Indian and Eurasian plates: Exemplified by the tectonic evolution of the Three River region, eastern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (4): 775 – 786 (in Chinese with English abstract).
- Liu J L, Tang Y, Song Z J, et al., 2010. The Ailaoshan Belt in west Yunnan: Tectonic framework and tectonic evolution[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 84 (6): 1377 – 1390 (in Chinese with English abstract).
- Liu J L, Wang A J, Cao S Y, et al., 2008. Geochronology and tectonic implication of migmatites from Diancangshan, western Yunnan, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24 (3): 413 – 420 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R, 2003. User's manual for Isoplot 3.0: A geo - chronological toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geo - chronology Center Special Publication, Berkeley.
- Metcalfe I, 2002. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20 (6): 551 – 566.
- Metcalfe I, 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1 – 33.
- Mo X X, Deng J F, Lu F X, 1994. Volcanism and the evolution of Tethys in Sanjiang area, southwestern China[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9 (4): 325 – 333.
- Morley C K, 2002. A tectonic model for the tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia[J]. *Tectonophysics*, 347 (4): 189 – 215.
- Pan G T, Ding J, Yao D S, et al., 2004. Guidebook of 1:1500000 geologic map of the Qinghai–Xizang (Tibet) Plateau and adjacent areas [M]. Chengdu: Cartographic Publishing House (in Chinese).
- Qiu J Q, Qiangba Z X, Ding X G, et al., 2012. Characteristics and tectonic environment of Eocene shoshonitic intrusive rocks in Leiwuqi region of eastern Tibet, China[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 35 (4): 520 – 525+576 (in Chinese with English abstract).
- Qiu J Q, Qiangba Z X, Li H, et al., 2011. Discovery and characteristic of the Danong slices in the Langcangjiang suture in the middle Permian period[J]. *North China Geology*, 34 (4): 258 – 267 (in Chinese with English abstract).
- Ren J J, Xu X W, Lü Y W, 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[J]. *Engineering Geology*, 306: 106748.
- Searle M, 2006. Role of the Red River Shear zone, Yunnan and Vietnam, in the continental extrusion of SE Asia[J]. *Journal of the Geological Society*, 163 (6): 1025 – 1036.
- Slama J, Kosler J, Condon D J, et al., 2008. Plesovice zircon—A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. *Chemical Geology*, 249 (1-2): 1 – 35.
- Song H L, 1995. An overview of metamorphic core complexes: Characteristics and origin[J]. *Earth Science Frontiers*, (1): 103 – 111 (in Chinese with English abstract).
- Su T, Spicer R A, Li S H, et al., 2018. Uplift, climate and biotic changes at the Eocene–Oligocene transition in southeastern Tibet[J]. *National Science Review*, 6 (3): 495 – 504.
- Tang M Y, Liu Z J, Hoke G D, et al., 2017. Paleoelevation reconstruction of the Paleocene–Eocene Gonjo Basin, SE-central Tibet[J]. *Tectonophysics*, 712–713: 170 – 181.
- Tang Y, Wang D B, Liao S Y, et al., 2016. Geochronological characterization and regional tectonic implication of the leucogranites in the southern segment of Gaoligong metamorphic zone, western Yunnan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32 (8): 2347 – 2366 (in Chinese with English abstract).
- Tao Y, Bi X W, Li C S, et al., 2014. Geochronology, petrogenesis and tectonic significance of the Jitang granitic pluton in eastern Tibet, SW China[J]. *Lithos*, 184–187: 314 – 323.
- Tapponnier P, Meyer B, Avouac J P, et al., 1990. Active thrusting and folding in the Qilian Shan, and decoupling between upper crust and mantle in northeastern Tibet[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 97 (3-4): 382 – 383, 387 – 403.
- Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R, 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 19 (1): 113 – 157.
- Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al., 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. *Geology*, 10: 611 – 616.
- Wang B D, Wang L Q, Qiangba Z X, et al., 2011. Early Triassic collision of northern Lancangjiang suture: Geochronological, geochemical and Hf isotope evidences from the granitic gneiss in Leiwuqi area, East Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27 (9): 2752 – 2762 (in Chinese with English abstract).
- Wang C M, Deng J, Carranza E J M, et al., 2014b. Tin metallogenesis associated with granitoids in the southwestern Sanjiang Tethyan Domain: Nature, deposit types, and tectonic setting[J]. *Gondwana Research*, 26 (2): 576 – 593.
- Wang G H, 2006. Structural characteristics and emplacement mechanism of Tanitawen Mt. Range metamorphic complex in the eastern margin of Tibet Plateau[J]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Wang J H, Yin A, Harrison T M, et al., 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo–Asian collision zone[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 188 (1-2): 123 –

- 133.
- Wiedenbeck M, Hanchar J M, Peck W H, et al., 2004. Further characterisation of the 91500 zircon crystal[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28 (1): 9–39.
- Wu J, Zhang K X, Xu Y D, et al., 2018. Paleoelevations in the Jianchuan Basin of the southeastern Tibetan plateau based on stable isotope and pollen grain analyses[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 510: 93–108.
- Xie J C, Zhu D C, Dong G C, et al., 2016. Linking the Tengchong Terrane in SW Yunnan with the Lhasa Terrane in southern Tibet through magmatic correlation[J]. *Gondwana research*, 39 (1): 217–229.
- Xiong Z, Ding L, Spicer R A, et al., 2020. The early Eocene rise of the Gonjo Basin, SE Tibet: From low desert to high forest[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 543: 116312.
- Xu Z Q, Wang Q, Cai Z H, et al., 2015. Kinematics of the TengChong Terrane in SE Tibet from the late Eocene to early Miocene: Insights from coeval mid-crustal detachments and strike-slip shear zones[J]. *Tectonophysics*, 665: 127–148.
- Zhang B, Zhang J J, Zhong D L, et al., 2012. Polystage deformation of the Gaoligong metamorphic zone: Structures, $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ mica ages, and tectonic implications[J]. *Journal of Structural Geology*, 37: 1–18.
- Zhang H, Wang B D, Yu Y S, et al., 2019. Petrogenesis of the Riqu granodiorite porphyry in southern Yulong porphyry copper belt: Constraints from zircon U-Pb geochronology and whole-rock geochemistry[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 38 (2): 379–394 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L S, Schärer U, 1999. Age and origin of magmatism along the Cenozoic Red River shear belt, China[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134 (1): 67–85.
- Zhao S W, Lai S C, Qin J F, et al., 2016. Tectono-magmatic evolution of the Gaoligong belt, southeastern margin of the Tibetan Plateau: Constraints from granitic gneisses and granitoid intrusions[J]. *Gondwana Research*, 35: 238–256.
- Zhao Z B, Bons P D, Wang G H, et al., 2014. Origin and pre-Cenozoic evolution of the south Qiangtang basement, central Tibet[J]. *Tectonophysics*, 623: 52–66.
- Zhao Z, Bons P D, Wang G H, et al., 2015. Tectonic evolution and high pressure rock exhumation in the Qiangtang terrane, central Tibet[J]. *Solid Earth*, 6 (2): 457–473.
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al., 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 23 (4): 1429–1454.
- 矿区始新世岩浆活动与成矿作用——来自锆石 U-Pb 年龄、地球化学的证据[J]. *地质通报*, 38 (2/3): 308–327.
- 陈奇, 王长明, 杜斌, 等, 2019. 藏东吉塘变质杂岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 35 (5): 1423–1446.
- 董彦龙, 2013. 滇西高黎贡变质杂岩—岩石组成与构造演化[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 韩明明. 怒江断裂带邦达段晚第四纪活动性研究[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2022.
- 季建清, 钟大赉, 张连生, 2000. 滇西南新生代走滑断裂运动学、年代学、及对青藏高原东南部块体运动的意义[J]. *地质科学*, (3): 336–349.
- 李才, 1987. 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]. *长春地质学院学报*, 17 (2): 155–166.
- 李才, 2008. 青藏高原龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带研究二十年[J]. *地质评论*, 54 (1): 105–119.
- 李才, 谢尧武, 董永胜, 等, 2009. 藏东类乌齐一带吉塘岩群时代讨论及初步认识[J]. *地质通报*, 28 (9): 1178–1180.
- 林彬, 王立强, 唐菊兴, 等, 2017. 西藏玉龙铜矿带包买矿床含矿斑岩锆石 U-Pb 年代学[J]. *地球科学*, 42 (9): 1454–1471.
- 刘德民, 2003. 中国变质核杂岩的基本特征[J]. *现代地质*, (2): 125–130.
- 刘俊, 李文昌, 周清, 等, 2022. 藏东类乌齐-左贡成矿带构造演化与成矿作用[J]. *沉积与特提斯地质*, 42 (1): 88–104.
- 刘俊来, 宋志杰, 曹淑云, 等, 2006. 印度-欧亚侧向碰撞带构造-岩浆演化的动力学背景与过程——以藏东三江地区构造演化为例[J]. *岩石学报*, 22 (4): 775–786.
- 刘俊来, 唐渊, 宋志杰, 等, 2010. 滇西哀牢山构造带: 结构与演化[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 84 (6): 1377–1390.
- 刘俊来, 王安建, 曹淑云, 等, 2008. 滇西点苍山杂岩中混合岩的地质年代学分析及其区域构造内涵[J]. *岩石学报*, 24 (3): 413–420.
- 潘桂棠, 丁俊, 姚东生, 2004. 青藏高原及邻区地质图 (1:1500000) [M]. 成都: 成都地图出版社.
- 邱军强, 强巴扎西, 丁希国, 等, 2012. 藏东类乌齐地区始新世钾玄质侵入岩特征及构造环境[J]. *合肥工业大学学报: 自然科学版*, 35 (4): 520–525+576.
- 邱军强, 强巴扎西, 李虎, 等, 2011. 澜沧江结合带中二叠世达弄岩片的发现及特征[J]. *地质调查与研究*, 34 (4): 258–267.
- 宋鸿林, 1995. 变质核杂岩研究进展、基本特征及成因探讨[J]. *地学前缘*, (1): 103–111.
- 唐渊, 王冬兵, 廖世勇, 等, 2016. 滇西高黎贡变质岩带南段淡色花岗岩脉年代学特征及构造意义[J]. *岩石学报*, 32 (8): 2347–2366.
- 王保弟, 王立全, 强巴扎西, 等, 2011. 早三叠世北澜沧江缝合带碰撞作用: 类乌齐花岗岩质片麻岩年代学、地球化学及 Hf 同位素证据[J]. *岩石学报*, 27 (9): 2752–2762.
- 王根厚, 2006. 藏东他念他翁山链变质杂岩系变形特征及表露机制 (博士学位论文) [D]. 北京: 中国地质大学 (北京).
- 张海, 王保弟, 于远山, 等, 2019. 西藏玉龙斑岩铜矿带南段日曲花岗岩闪长斑岩成因: 锆石 U-Pb 年代学和地球化学约束[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 38 (2): 379–394.

附中文参考文献

- 艾长兴, 陈炳蔚, 1986. 对西藏东部嘉玉桥群及吉塘群地质时代问题的讨论[J]. *西藏地质*, (1): 13–17.
- 白涛, 樊炳良, 肖霞, 等, 2019. 西藏玉龙斑岩铜矿带北段夏日多