

doi: 10.12029/gc20220519

彭智敏,王保弟,胡金锋,付于真,王国芝,张辑,刘云鹤,张璋,关俊雷,韩文文. 2022. 云南滇西地区早古生代增生杂岩的厘定及其洋壳俯冲消减作用——基于 1:5 万文东幅地质调查的新认识[J]. 中国地质, 49(5): 1656–1672.

Peng Zhimin, Wang Baodi, Hu Jinfeng, Fu Yuzhen, Wang Guozhi, Zhang Ji, Liu Yunhe, Zhang Zhang, Guan Junlei, Han Wenwen. 2022. Determination and oceanic crust subduction of Early Palaeozoic accretionary complexes in the western Yunnan Province—New cognition based on the geological survey of Wendong sheet (1:50000)[J]. Geology in China, 49(5): 1656–1672(in Chinese with English abstract).

云南滇西地区早古生代增生杂岩的厘定及其洋壳俯冲消减作用——基于 1:5 万文东幅地质调查的新认识

彭智敏¹,王保弟¹,胡金锋²,付于真³,王国芝³,
张辑²,刘云鹤²,张璋¹,关俊雷¹,韩文文²

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081;2. 核工业 280 研究所,四川 广汉 618300;3. 成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059)

摘要:【研究目的】澜沧岩群一直存在较大争议,查明澜沧岩群的物质组成、构造属性、时代及变质变形特征具有重要的意义,为进一步重建特提斯的时空格架提供重要的基础资料。【研究方法】在 1:5 万详细野外调查的基础上,系统开展 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学等综合研究。【研究结果】查明了澜沧岩群的物质组成及变质变形特征,具有基质+块体的构造混杂岩特征,经历了 3 期变质变形,整体表现为逆冲推覆-增生造山的构造变形样式。通过碎屑锆石、变酸性岩锆石 U-Pb 年代学研究,结合已有的研究资料,厘定其形成时代为早古生代。澜沧岩群中高压变质岩的原岩具有岩浆弧、OIB 和 E-MORB 的特征,说明澜沧岩群经历了深俯冲、增生造山作用过程。【结论】结合区域已有的研究资料及本文研究成果,认为澜沧岩群不是基底岩系,而是昌宁—孟连原—古特提斯洋俯冲消减形成的早古生代增生杂岩。

关键词:澜沧岩群;原—古特提斯洋;增生杂岩;早古生代;地质调查工程;滇西

创 新 点:将前人划的基底岩系“澜沧岩群”厘定为早古生代俯冲增生杂岩,是原—古特提斯洋俯冲消减的物质记录,为重塑三江地区俯冲增生模式、洋陆转换方式提供了重要的依据。

中图分类号: P534.4;P587;P542 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)05-1656-17

Determination and oceanic crust subduction of Early Palaeozoic accretionary complexes in the western Yunnan Province—New cognition based on the geological survey of Wendong sheet (1:50000)

PENG Zhimin¹, WANG Baodi¹, HU Jinfeng², FU Yuzhen³, WANG Guozhi³, ZHANG Ji²,
LIU Yunhe², ZHANG Zhang¹, GUAN Junlei¹, HAN Wenwen²

收稿日期: 2019-12-17; 改回日期: 2020-04-01

基金项目: 国家自然科学基金(92055314)及中国地质调查局项目(DD20160016, DD20221635)联合资助。

作者简介: 彭智敏,男,1978,正高级工程师,从事区域地质调查与研究;E-mail:pzm20022002@163.com。

通讯作者: 王保弟,男,1975,研究员,从事青藏高原地质研究工作;E-mail: baodiwang@163.com。

(1. Chengdu Institute of Geology & Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Institute No. 280, CNNC, Guanghan 618300, Sichuan, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: This paper is the result of geological survey engineering.

[Objction]: The purpose of this study is to reveal the material composition, tectonic nature, age, metamorphism, and deformation of the Lancang Group, which are controversial but of great significance. The results will provide fundamental data for further reconstruction of the spatiotemporal framework of the Tethys. **[Methods]** Systematically synthetic studies were performed based on 1:50000 detailed field investigation and Laser Ablash Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (LA-ICP-MS) U-Pb dating of zircons. **[Results]** The Lancang Group is characterized by a tectonic mélangé with matrix and blocks. It underwent three stages of metamorphism and deformation, overall as a thrust nappe accretionary orogen. The formation age of the Lancang group is determined as the Early Paleozoic based on the zircon U-Pb ages from detrital zircons and meta acid rocks and previous research data. The protolith of the high-pressure metamorphic rocks in the Lancang Group has the characteristics of magmatic arc, OIB and E-MORB, indicating that the Lancang Group experienced deep subduction and accretionary orogeny. **[Conclusions]** Combined with the available research data in this region and the results obtained in this paper, the Lancang Group is not a basement but an Early Paleozoic accretionary complex formed by the subduction of the Changning-Menglian Proto-Paleo-Tethys Ocean.

Key words: Lancang Group; Proto-Paleo-Tethys; accretionary complex; Early Paleozoic; geological survey engineering; southwestern Yunnan Province

Highlights: The "Lancang Group", traditionally considered the basement, is identified as an Early Paleozoic subduction-accretion complex, which is the material record of the subduction of the Proto-Paleo-Tethys Ocean. This research provides an important basis for reconstructing the subduction-accretion model and ocean-continent transformation pattern in the Sanjiang area.

About the first author: PENG Zhimin, male, born in 1978, professor, engaged in regional geological survey and research; E-mail: pzm20022002@163.com.

About the corresponding author: WANG Baodi, male, born in 1975, research fellow, engaged in geological research on the Qinghai-Tibet Plateau; E-mail: baodiwang@164.com.

Fund support: Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 92055314) and the project of China Geological Survey (No. 20160016, No. DD20221635).

1 引言

近年来,洋板块地层系统已成为造山带研究的前沿和热点,受到国内外地质学家的广泛关注。洋板块地层主要是指在洋盆形成、消减与闭合过程中形成的一套无序的岩石组合,主要包括基质和岩块两部分,由洋壳残片、洋岛-海山、远洋沉积物、高压变质岩、裂离陆壳残块等组成(Isozaki et al., 1990; Kusky et al., 1999, 2013; 张克信等, 2016; 任飞等, 2017; 冯益民等, 2018; 潘桂棠等, 2019; 李廷栋等, 2019), 普遍遭受了多期次构造叠加, 经历了不同程度的变质、变形、变位。增生杂岩是指保存在俯冲消减带中的洋盆消亡的残迹, 是在海洋板块俯冲过程中, 刮削、褶皱、断层等作用使大洋岩石圈残片、远洋沉积物及陆(弧)缘斜坡地层系统混杂堆积, 并经强烈构造剪切形成的以逆冲断层为边界的楔形地质体(李继亮, 2004; 王根厚等, 2009; 潘桂棠等,

2019; 肖文交等, 2019)。增生杂岩由不同时代、不同构造环境、不同变质变形程度的地层系统及岩石混杂堆叠, 总体表现为局部有序、总体无序的特征(Kusky et al., 2013), 记录了造山带地区洋盆演化、洋-陆转换及陆壳增生等演化历史过程(李继亮, 2004; 冯益民等, 2018)。因此, 造山带地区增生杂岩的识别是剖析造山带形成过程中的物质归宿、洋壳消亡及陆壳增生等动力学机制的关键。

“三江”地区位于青藏高原东南缘, 是研究原-古特提斯洋构造演化的窗口, 一直以来都是国内外地质学家关注的热点地区。近年来的研究表明, “三江”地区存在多岛弧盆系的构造格局(刘本培等, 1993, 2002; 莫宣学等, 1993; Metcalfe, 1994; 潘桂棠等, 1996, 2012, 2016; 钟大赟, 1998; 王保弟等, 2013, 2018), 记录了原-古特提斯洋长时间俯冲、多期次增生和大陆聚合的演化历史, 是典型的复合型造山带(Deng et al., 2014; 邓军等, 2016)。昌宁-孟

连结合带位于西侧保山地块与东侧临沧—勐海岩浆弧带之间,代表了一个从早古生代发育并一直延续到晚古生代的洋盆,是研究“三江”特提斯演化的窗口(王保弟等,2013,2018;王冬兵等,2016;孙载波等,2017;刘桂春等,2017;彭智敏等,2018,2020)。然而,长期以来,记录昌宁—孟连洋俯冲消减、增生造山过程的地质体始终未明确,制约了科学家们对滇西地区特提斯演化、增生造山过程等的进一步认识。

最近,中国地质调查局成都地质调查中心组织实施的“西南三江有色金属资源基地调查”在双江地区部署了1:5万文东幅等区域地质调查工作,作者对一直存在较大争议的澜沧岩群进行了详细的野外地质调查,新识别出以典型榴辉岩和蓝片岩为标志的高压变质带及弧岩浆活动的地质记录,结合测试分析结果,重新厘定了澜沧岩群的物质组成、构造属性、时代,为进一步重建特提斯的时空格架提供了重要的基础资料。

2 地质背景

西南三江特提斯造山带位于特提斯构造域东段、青藏高原以南,经历了原—古特提斯构造演化及增生造山,后期又遭受新生代印度—欧亚板块碰撞造山的叠加和改造。该地区发育多条变质杂岩带,多数沿着造山带呈南北向展布,经历了多期变形变质作用。其中,澜沧岩群位于昌宁—孟连结合带和南澜沧江结合带之间,主要分布在昌宁—孟连结合带与碧落雪山—临沧花岗岩带之间,北起凤庆县,经云县、临沧、双江和澜沧县,南至西双版纳州,长逾400 km,宽25~50 km,一直延伸到缅甸境内,呈南北向带状分布(图1a、b)。澜沧岩群东与临沧复式花岗岩呈断层、侵入接触关系;西与南段岩组呈断层接触,局部地方被三岔河组(T_3sc)和花开左组(J_2h)角度不整合覆盖。澜沧岩群岩性主要以片岩为主,含变基性岩、变酸性岩及高压变质岩。片岩以副变质片岩为主,包括二云石英片岩、白云母石英片岩、黑云母石英片岩等;正变质片岩主要有绿片岩、钠长片岩、角闪片岩等。部分变基性岩块、变酸性岩块等呈构造透镜体局部出露。代表古俯冲带及古板块结合带的重要标志的高压变质岩(蓝片岩、榴辉岩)主要分布在栗义、南榔等一带(图1c)。由于经历了不同程度的构造叠加,强烈的剪切变形

使区域性透入剪切面理发育,澜沧岩群各岩组/段之间均为构造接触,原始层理被完全置换,原始地层构造和面貌已荡然无存。

3 澜沧岩群的基本特征

澜沧岩群是云南地区长期存在争议的一个岩石地层单位,比如其地层时代、物质来源以及变质时代等,早期认为其时代主要有新元古代、早古生代以及寒武纪(表1)。云南区测队1965年创名于澜沧县(100万区调),原始定义:绢—白云石英片岩、绢云微晶片岩、千枚岩及板岩等,有铁、磷、硅质岩的夹层,具有复理石的特征,属浅—中等变质程度,时代为寒武纪。云南省岩石地层(1996)定义为一套具有复理石特征的板岩、变质砂岩、微晶片岩、片岩、变基性火山岩夹沉积变质铁矿多层以及少量变粒岩组成的浅变质岩系,未见底,顶部被花开左组(J_2h)覆盖,自下而上将其划分为南木岭组、勐井山组、曼来组、惠民组和南坑河组,各组之间呈整合接触关系,时代为新元古代;1:25万区域地质调查根据变形变质特征的差异,将其划分为两个构造岩片,时代厘定为新元古代(表1)。

不同时期对澜沧岩群的物质组成、划分、时代具有不同的认识,变质程度由绿片岩相—角闪岩相,认为是一套基底变质岩系,属史密斯地层范畴。最新的1:5万区域地质调查香竹林幅等认为其时代从青白口纪—奥陶纪,具有增生杂岩的特点(表1)。

本次1:5万区域地质调查文东幅采用岩性+构造的方法,注重岩性和构造的表达,通过详细野外调查和室内研究,结合区域资料综合研究认为,澜沧岩群物质组成具有复杂性、多样性,按其原岩特征将其分为6大类:①变砂泥质岩:云母石英片岩、二云母片岩等;②变中酸性火山岩:绿泥钠长片岩、钠长二云母片岩、变流纹岩等;③变基性—中基性火山岩:绿片岩、钠长阳起石片岩、斜长角闪(片)岩等;④变中—酸性岩:花岗质片麻岩、钠长浅粒岩等;⑤低—中温高压变质岩:蓝闪石片岩、榴闪岩、榴辉岩等;⑥少量的其他岩类:大理岩、石英岩及半石墨化构造片岩等。根据岩性组合特征,本文将澜沧岩群划分为6个岩组、12个岩段(表2),各岩组/段间界线均为脆韧性剪切带,岩组/段内部发育不同的构造变形样式。根据变质变形程度等将其划分为

“岩块”和“基质”两大类(表3),基质原岩多为砂泥质碎屑岩,变形强烈,片理化明显,原生层理已被后期面理完全置换,同斜紧闭褶皱及流变揉皱发育;岩块多为能干性较强的岩石,主要有洋壳残片(斜长角闪岩、绿片岩、蓝片岩、榴辉岩等)(图2a、b、d、e、g、h、k)、变火山岩、变酸性岩、大理岩等(图2c、f)。由于该地区片理化较强,多数岩块强片理化,其面理(S_n)和基质的面理多数基本平行,露头覆盖严重,未见其延伸距离(图2b、c)。对于强片理化的岩石,能通过地球化学恢复原岩类型、形成构造环境或变质属性的地质体均表达为岩块,比如强片理化的绿片岩、钠长片岩等。岩块出露规模大小差异明显,部分地貌上表现为高突起,呈构造透镜体。

4 高压变质岩特征

蓝片岩、榴辉岩相变质杂岩带是板块汇聚边界及大洋俯冲和大陆碰撞的重要标志,其记录了洋-陆俯冲-碰撞动力学过程中物质及能量的转换,表征了古洋盆的构造演化和造山带的构造动力学过程(Festa et al., 2010; Wei et al., 2011),作为探测地球深部动力学过程的窗口。笔者在1:5万区域地质调查文东幅调查过程中,在云南双江地区的澜沧岩群中发现了多处榴辉岩、榴闪岩、蓝片岩,露头出露较好,规模较大,围岩主要为粗粒石榴白云母片岩(多硅)(彭智敏等, 2019; Fu et al., 2021),其发现对于研究澜沧岩群的构造属性提供了重要的资料。

4.1 地质特征

本次工作在澜沧岩群中发现大量的高压变质岩(蓝片岩、榴(闪)辉岩),主要分布于栗义、蓝榔、邦丙等一带(图1c),呈近南北向展布。蓝片岩主要有两种类型:一类为变质中基性火山岩型蓝片岩(绿泥蓝闪片岩类、石榴蓝闪片岩);另一类为变质含火山沉积型的蓝片岩(云母石英蓝闪片岩),二者常相伴产出。蓝片岩由于强烈的片理化作用,多数与围岩界线不清,二者之间面理(片理)平行。榴辉岩主要产于栗义蓝片岩带内的邦丙地区,延伸规模约数百米。以大小不等的构造透镜体形式夹持于澜沧岩群粗粒石榴白云母片岩中,宽2~50 m,长2~30 m。榴闪岩主要出露于大文乡一带的澜沧岩群增生杂岩中,靠近临沧花岗岩,围岩主要为二云石英片岩、钠长二云片岩等,榴闪岩构造透镜体呈近南北向分布,延伸

约200 m,东西延伸约1 km,风化后呈灰黑色,新鲜面呈淡粉色,宽1~5 m,长0.5~5 m。

4.2 岩相学特征

变质含火山沉积型的蓝片岩,主要有石榴蓝闪白云石英片岩,蓝闪白云石英片岩。呈鳞片粒状变晶结构,片状构造。主要矿物成分为多硅白云母(20%±)、黑云母(5%±)、石英(65%~70%)、钠长石(3%~5%)、石榴石(5%±)、蓝闪石(5%~20%)。蓝闪石与石榴石共生,针柱状,呈变斑晶,见变质残缕结构,常沿片理方向定向,并随构造变形形成褶皱,常见边缘发生绿泥石化。石榴石呈近半自形—近等轴粒状,变斑晶,粒状变晶结构,明显见变质残缕结构,残余孔洞发育石英,粒径一般0.1~0.35 mm,零散可见,粒内可见蓝闪石等包裹体(图3a)。

变质中基性火山岩型蓝片岩,主要有(含石榴)蓝闪绿泥阳起钠长片岩、蓝闪绿泥钠长片岩。为粒状柱状片状变晶结构,片状构造。主要矿物成分为蓝闪石(5%~10%)、石榴石(<5%)、绿泥石(10%~20%)、阳起石(15%~30%)、多硅白云母(10%~15%)、钠长石(30%~40%)和次生矿物磷灰石、金红石,以及副矿物褐铁矿等。蓝闪石为半自形—近半自形柱状,大小1.0~2.0 mm或0.1~1.0 mm,零散状定向分布,多色性明显,Ng'=深天蓝色,Nm'=紫色,Np'=浅黄绿色,沿理理轻微褐铁矿化,或绿泥石化(图3b)。

石榴蓝闪片岩,粒状柱状变晶结构,块状构造,主要矿物成分为石榴石(20%~25%),蓝闪石含量超过50%,其次为多硅白云母(10%±)、石英(5%±)、绿泥石(5%±)。蓝闪石与石榴石共生,呈半自形—自形柱状,粒径大小不等,为0.1~0.5 mm,经剪切变形作用呈透镜状,类似云母鱼的形态,表明经历了后期的变形改造,集合体也呈定向排列,包绕石榴石变斑晶。石榴石呈自形等轴粒状,变斑晶,包体发育,呈现出环带结构,包体类型有蓝闪石、绿泥石、石英、石榴石等。其他矿物含量较少,白云母呈自形片状,发育于石榴石和蓝闪石晶粒间(图3c)。

榴闪岩,主要矿物组合为石榴石+紫苏辉石+角闪石+斜长石+绿泥石,次要矿物有多硅白云母、金红石等。具斑状、纤柱状变晶结构,局部发育反应边结构、后成合晶结构,微网结—网纹状定向构造,中—细粒状(1~3 mm)粉红色石榴石(40%)变斑晶不均匀散布于灰绿色角闪石基质中,石榴石呈半自

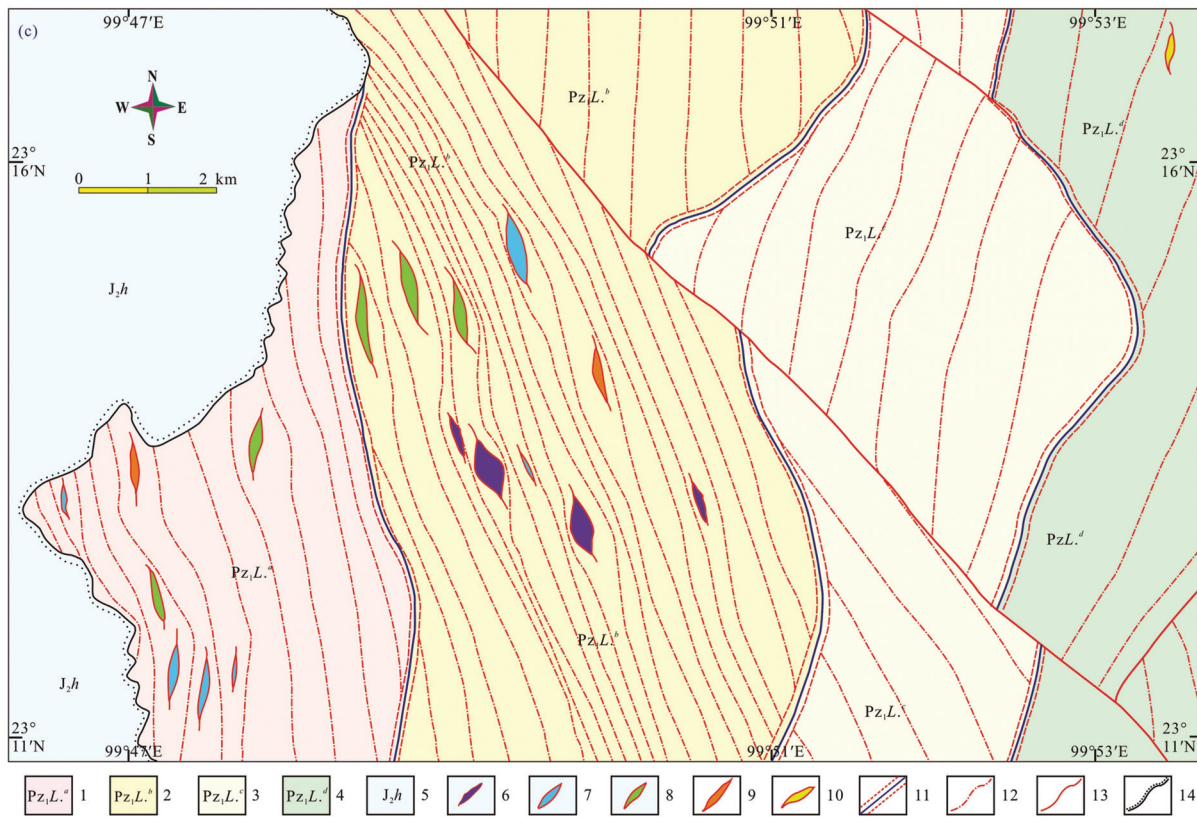
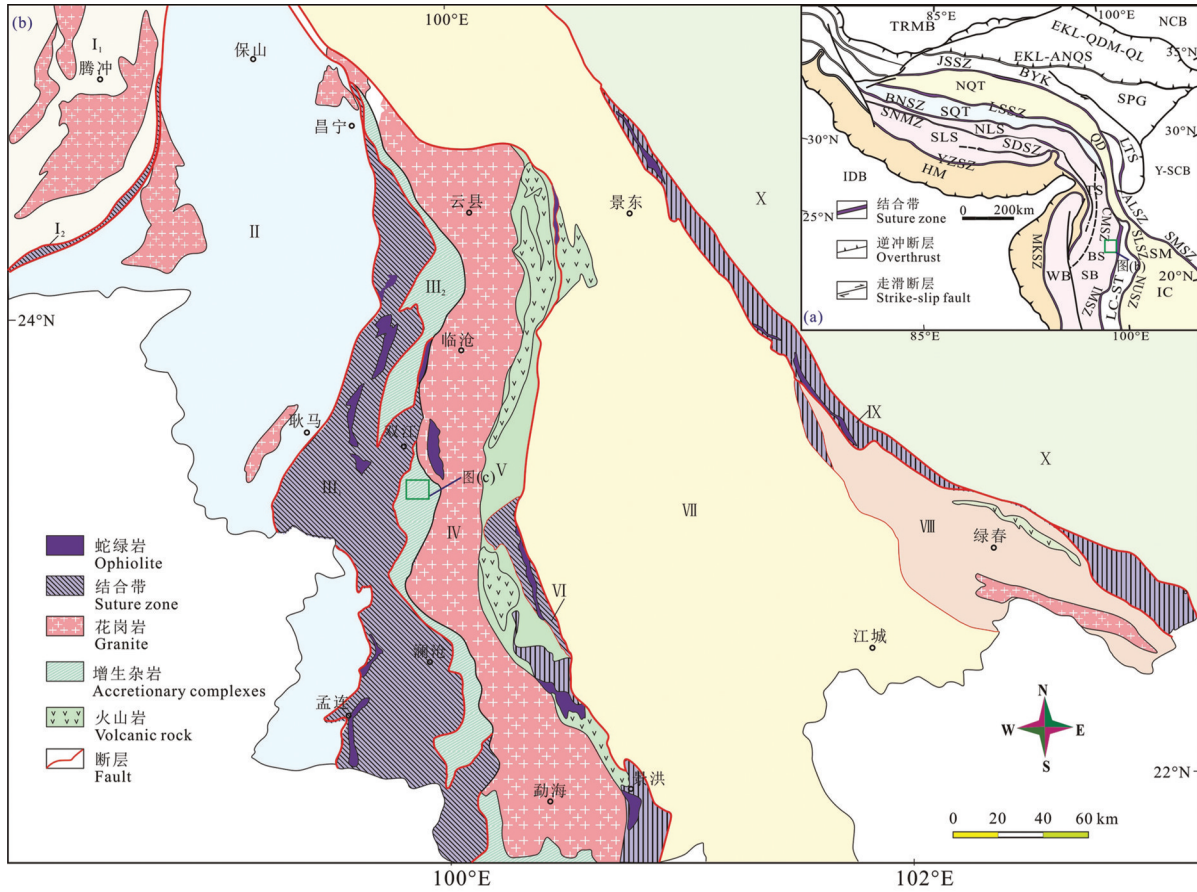


图1 东特提斯构造单元(a,b)及澜沧岩群增生杂岩地质简图(c)

TRMB—塔里木板块;NCB—华北板块;Y—SCB—扬子—华板块;IDB—印度板块;EKLS—QDM—QL—东昆仑—柴达木—祁连板块;EKL—ANDS—东昆仑—阿尼玛卿蛇绿混杂岩带;JSSZ—ALSZ—SMSZ—金沙江—哀牢山—松马结合带;BYK—SPG—巴颜喀拉板块—松潘—甘孜板块;NQT—QD—SM—IC—北羌塘—昌都—思茅—印支板块;SQT—BS—SB—南羌塘—保山—掸邦板块;LSSZ—CMSZ—IMSZ—龙木错—双湖—昌宁—孟连—因他暖结合带;NLS—SLS—TS—北拉萨—腾冲板块;SLS—南拉萨板块;HM—喜马拉雅板块;LC—ST—临沧—素可泰板块;SLCZ—NUSZ—南澜沧—难河—程逸结合带;SNMZ—狮泉河—嘉黎结合带;SDSZ—松多结合带;YZSZ—MKSZ—雅鲁藏布江结合带—密支那结合带;WB—西缅板块。1—澜沧岩群a岩组;2—澜沧岩群b岩组;3—澜沧岩群c岩组;4—澜沧岩群d岩组;5—花开左组;6—榴辉岩;7—蓝片岩;8—绿片岩;9—角闪片岩;10—斜长角闪岩;11—脆—韧性剪切带;12—片理化带;13—断层;14—角度不整合

Fig.1 Tectonic framework of the east Tethys domain (a,b) and geological sketch map of accretionary complex of Lancang group (c) TRMB—Tarim Plate; NCB—North China Plate; Y—SCB—Yangtze—South China Plate; IDB—India Plate; EKLS—QDM—QL—East Kunlun—Qaidam—Qilian Plate; EKL—ANDS—East Kunlun—A ayemaqen suture; JSSZ—ALSZ—SMSZ—Jinshajiang—Ailaoshan—Songma suture zone; BYK—SPG—Bayankala—Songpan—Ganze block; NQT—QD—SM—IC—North Qiangtang—Qamdo—Simao—Indochina terrane; SQT—BS—SB—South Qiangtang—Baoshan—Sibumasu block; LSSZ—CMSZ—IMSZ—Longmo Tso Shuanghu—Changning—Menglian—Inthanon suture zone; NLS—SLS—TS—North Lhasa—South Lhasa—Tengchong block; HM—Himalaya block; LC—ST—Lincang—Sukhothai block; SLCZ—NUSZ—South Lancangjiang—Nan Uttaradit suture zone; SNMZ—Siquanhe—Jili suture zone; SDSZ—Sumdo suture zone; YZSZ—MKSZ—Yarlung zangbo—Myitkyina suture zone; WB—West Burma block. 1—a petrofabric of Lancang Group complex; 2—b petrofabric of Lancang Group complex; 3—c petrofabric of Lancang Group complex; 4—d petrofabric of Lancang Group complex; 5—Eclogite; 6—Blueschist; 7—Greenschist; 8—Amphibolite; 9—Plagioclase amphibolite; 10—Brittle—ductile; 11—Schistosity shear belt; 12—Schistosity belt; 13—Fault; 14—Angular unconformity

形—他形近等轴粒状,内部普遍见金红石、钛铁矿、榍石及少量石英包裹体,普遍具黑云母、绿泥石、绿帘石退变反应边,退变强烈者完全分解成角闪石+斜长石、角闪石+斜长石+黑云母,其中斜长石具弱绢云母化、黑云母具绿泥石化。基质主要由柱状、纤柱状、纤维状角闪石(45%)组成,含少量斜长石

(10%)及金红石、榍石、钛铁矿(5%)等。角闪石族矿物多与斜长石呈细粒状交生集合体产出,细粒状后成合晶结构,按产状可划分出两期:第一期角闪石(Hb₁)呈淡绿色—淡黄绿色—无色,他形柱状、纤柱状、纤状,多呈放射状集合体产出,部分与斜长石共生;第二期角闪石(Hb₂)呈鲜艳的蓝绿色,具明显

表1 澜沧岩群划分历史沿革

Table 1 The partition scheme of historical evolution of Lancang group

早期划分	1:20万南伞—耿马幅(1984)	1:20万上班老—沧源幅(1986)	云南省岩石地层(1996)		1:25万滚龙—临沧县幅(2002)	1:5万香竹林幅等(2017)			
早古生代		c段	惠民组	新元古界	新元古界	b岩片	奥陶—寒武系	惠民岩组	
早元古代	古生界	b段	元古界				曼来组	寒武系—震旦系	曼来岩组
晚元古代		a段	曼来组				勐井山组	南华系	勐井山岩组
							南木岭组	青白口系	南木岭岩组

表2 澜沧岩群岩性组合划分

Table 2 The partition of lithologic combination of Lancang group

界	系	统	岩群	岩组	岩段	主要岩石组合
下古生界	澜沧岩群			P _{Z1} L ^a	P _{Z1} L ^{a-1}	含石榴石白云母石英片岩、粗粒含石榴石白云母片岩、蓝闪榴辉岩、蓝片岩、斜长角闪(片)岩、辉石岩、大理岩
					P _{Z1} L ^{a-2}	二云母石英片岩、粗粒含石榴石白云母片岩、斜长角闪岩
				P _{Z1} L ^b	P _{Z1} L ^{b-1}	白云母石英片岩、蓝片岩、绿片岩、角闪片岩、片麻状花岗岩
					P _{Z1} L ^{b-2}	二云母石英片岩
				P _{Z1} L ^c	P _{Z1} L ^{c-1}	白云母石英片岩、粗粒含石榴石白云母片岩、钠长片岩
					P _{Z1} L ^{c-2}	含石榴石二云母石英片岩、粗粒含石榴石白云母片岩、斜长角闪(片)岩、榴闪岩
				P _{Z1} L ^d	P _{Z1} L ^{d-1}	白云母石英片岩、钠长(阳起)片岩、变流纹岩
					P _{Z1} L ^{d-2}	二云母石英片岩、花岗质片麻岩、钠长片岩、白云母钠长浅粒岩
				P _{Z1} L ^e		二云母石英片岩、榴闪岩、斜长片麻岩
				P _{Z1} L ^f	P _{Z1} L ^{f-1}	绢(白)云母石英片岩、黑云斜长(含石榴石透闪斜长)变粒岩、榴闪岩、蓝片岩
P _{Z1} L ^{f-2}	绢(白)云母石英片岩、二云母石英片岩					
P _{Z1} L ^{f-3}	二云母石英片岩、斜长角闪(片)岩、钠长片岩					
P _{Z1} L ^{f-4}	黑云母石英片岩					

表3 澜沧岩群增生杂岩物质组成
Table 3 The material composition of Lancang group

物质组成	代号	岩性	时代 /Ma	构造属性
澜沧岩群增生杂岩	<i>qz</i>	石英岩		火山弧
	<i>mb</i>	大理岩		
	<i>mλ</i>	变流纹岩		
	<i>abs</i>	钠长片岩	474	与俯冲有关的岛弧
	<i>lit</i>	钠长浅粒岩	476	
	<i>plg</i>	斜长片麻岩		富集地幔洋岛
	<i>abl</i>	斜长角闪(片)岩		
	<i>ges</i>	绿片岩		火山弧、洋岛
	<i>acs</i>	钠长阳起石片岩		
	<i>hos</i>	角闪片岩		
	<i>prx</i>	辉石岩		
	<i>gls</i>	蓝片岩	250	
	<i>eh</i>	榴闪岩	463	
	<i>ec</i>	榴辉岩	238	
基质	<i>bqs</i>	黑云母石英片岩	450~550	远洋沉积、复理石沉积
	<i>bm-qs</i>	二云石英片岩		
	<i>mu-qs</i>	白云母石英片岩		
	<i>sm-qs</i>	绢白云母石英片岩		

多色性:Ng—深蓝绿,Np—浅绿色,为低温普通角闪石,局部残余透镜—条痕状细中粒(0.2~2 mm)单斜辉石(cpx),斜长石具有绢云母化(图3d)。

榴辉岩,主要矿物组合为石榴石+绿辉石+蓝闪石+绿帘石+绿泥石,次要矿物有多硅白云母、金红石等。榴辉岩斑状变晶结构,变斑晶多为石榴石(20%~30%)和蓝闪石(10%),有时也见斜黝帘石(5%~10%);变基质为柱状粒状变晶结构,主要由绿辉石(40%~50%)、蓝闪石(5%)、绿泥石(5%)、石英(5%)和少量多硅白云母(<3%)、金红石(3%)等构成。石榴石呈自形—半自形粒状结构,粒径0.2~5 mm不等,其核部包裹体发育,主要为绿辉石、绿帘石等。绿辉石呈新鲜绿色,未蚀变,为半自形短柱状或细小粒状,粒径0.2~0.5 mm,绿辉石主要分布于变基质中,少量以包裹体的形式赋存于石榴石和斜黝帘石内。变基质中绿辉石粒径明显比包裹体中的绿辉石粗。金红石呈针状或不规则粒状,主要见于变基质中,少量以包裹体的形式赋存于石榴石、绿辉石、蓝闪石和斜黝帘石中,有时偶见金红石向榍石退变现象。多数榴辉岩中的石榴石、绿辉石、蓝闪石均匀分布,块状构造;部分榴辉岩中的石榴石与绿辉石、蓝闪石发生明显的分异而呈条带状构造。蓝闪石发育较好的光学和成分环带,主要为:核部为蓝透闪石残留,边部过渡为蓝

闪石;核部为浅蓝色蓝闪石,边缘为深蓝色蓝闪石,该类型环带最为常见(图3e、f)。

4.3 变质作用期次与变质作用温压条件估算

通过显微镜下变质矿物共生组合及其化学成分分析(表略),在榴辉岩中识别出多阶段变质作用:进变质蓝片岩相(M1),峰期变质榴辉岩相(M2),峰期后退变质绿帘石—蓝闪石榴辉岩相(M3)及退变绿片岩相(M4)。其中峰期变质作用形成的共生矿物组合为Grt+Opm+Phg+Qtz+Rt。利用石榴石—单斜辉石 Fe^{2+} -Mg交换地质温度计(Ravna, 2000)和石榴石—单斜辉石—多硅白云母地质压力计(Ravna and Terry, 2004)计算获得榴辉岩峰期温压条件为3.27 GPa和643℃,为榴辉岩相。该条件明显超过了石英—柯石英的相变压力(2.8 GPa±),暗示着该期变质可能属于超高压变质。在峰期变质作用后,榴辉岩开始折返,温度压力随之降低,晚期的绿片岩相退变质作用以形成阳起石、榍石和包绕石榴石的绿泥石为特征。石榴石变斑晶发生了脆性破裂,阳起石可能由蓝闪石退变而成,绿泥石可能由黑云母退变而成。

5 澜沧岩群变质、变形特征

以栗义地区为界,澜沧岩群东侧以倾向E的叠瓦状逆冲推覆构造及各逆冲断片中宽缓的背、向形构造为主;西侧以倾向W的叠瓦状逆冲推覆断裂及各逆冲断片中层间剪切变形—滑脱变形构造为主,东西两侧呈对冲式逆冲推覆构造(图4)。澜沧岩群普遍遭受了多期次构造叠加,经历了不同程度的变质、变形、变位,遭受了强烈的透入性面理化,其主要有三阶段的变质、变形。

5.1 第一阶段变质、变形(M₁-M₂D₁)

主要发生在原—古特提斯洋俯冲消减期,以剪切塑性流变为主,形成了区域性的近南北向片理、片麻理,塑造了澜沧岩群的整体基本构造样式。野外露头表现为S₁面理,同斜褶皱和石英脉的主体构造样式,露头常见密集或透入性分布的浅色石英脉,产状与透入性面理一致。镜下矿物定向明显,矿物具有被拉长和剪切的特征(图5a、j),露头或镜下见D₁期同斜褶皱(图5k),其为递进剪切流变后的产物。区域上伴随有绿片岩相—蓝片岩相—榴辉岩相变质作用。绿片岩相主要的矿物组合为阳起石+



图2 澜沧岩群基质和岩块特征
Fig.2 Matrix and block characteristics of Lancang group

钠长石+绿泥石±黑云母;蓝片岩相峰期矿物组合为石榴石+蓝闪石±多硅白云母+石英±钠长石;榴辉岩相峰期矿物组合为石榴石+绿辉石+多硅白云母+金红石,可能还有硬柱石。表明该期变质变形主要发生于中—深(低)构造层次。

5.2 第二阶段变质、变形(M₃D₂)

随着原—古特提斯洋的消亡,第二阶段的变形主要发生在保山地块和思茅地块的碰撞期,以韧性剪切变形构造样式为主。韧性剪切带中,野外可见该变形阶段S₁面理发生褶皱,该期褶皱的转折端可观察到间隔轴面劈理S₂(图5b)。在显微尺度上,韧性剪切使早期形成的矿物强烈定向,微劈石域由拉长定向的粒状矿物斜长石、石英等,及发生褶皱的先存面理组成;劈理域则由集中的片柱状矿物形成糜棱面理S₂(图5k)。由韧性剪切作用形成的糜棱面理S₂基本全部置换先期区域性片理,或与其小角度斜交(图5b、k),整体产状与D₂期形成的褶皱轴面平行,走向近南北。露头还见到大量的石英脉,呈

不对称的拖尾和“σ”旋转碎斑等剪切流变构造特征,根据其拖尾方向或流变拖曳方向,可判断该期剪切变形整体为近水平的左型剪切,局部可见右行剪切。也见石英脉被拉长—增厚形成石香肠、眼球状等构造,糜棱岩化带还发育S—C组构,均具有剪切走滑的特征(图5c、d、e)。变形环境由中—深构造层次转变到中—浅构造层次,伴随的变质相为退变质绿帘石—蓝闪石榴辉岩相、绿片岩相,主要的矿物组合为绿帘石+斜黝帘石+蓝闪石+石榴石+绿辉石+白云母±阳起石,白云母+石英+绿泥石。

5.3 第三阶段变质、变形(M₄D₃)

在递进变形的作用下,保山地块和思茅地块继续挤压碰撞,澜沧岩群第三阶段的变形在第二阶段的基础上,持续挤压剪切,发生逆冲冲断,造成软弱层的层间剪切滑脱,伴随褶皱压缩率也随之增大,先期形成的糜棱面理也发生褶皱弯曲。

澜沧岩群增生杂岩折返到浅构造层次,持续的挤压作用下发育一系列倾向W或倾向E的逆冲断

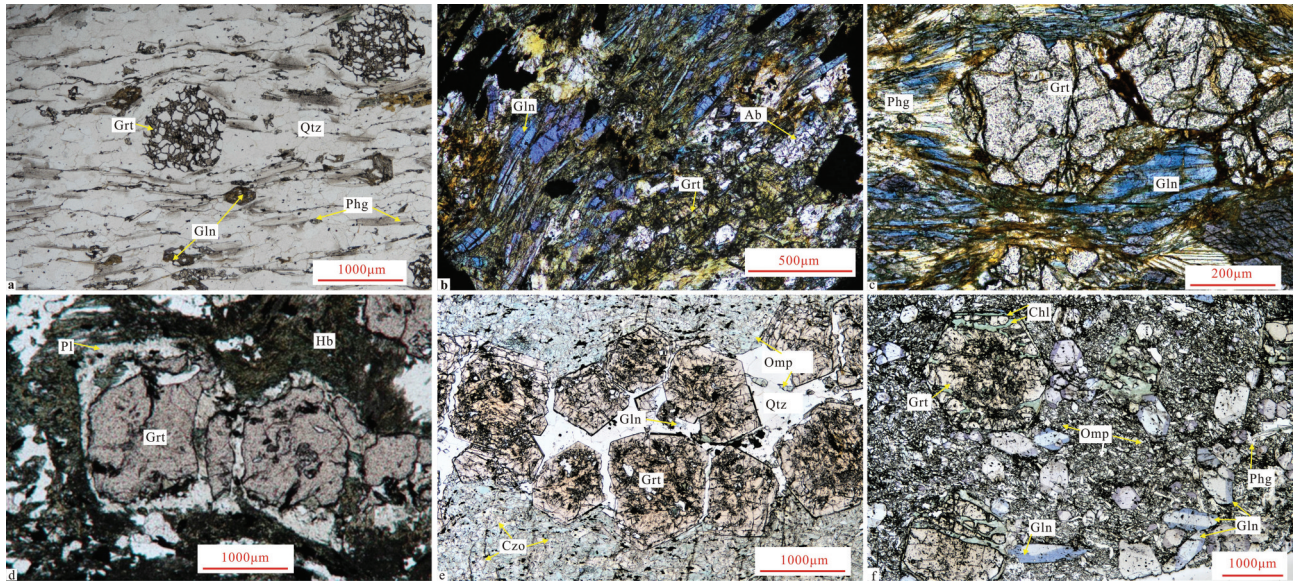


图3 澜沧岩群中蓝片岩、榴辉岩显微特征

a—蓝闪石榴白云母石英片岩；b—(含石榴)蓝闪绿泥钠长片岩；c—石榴蓝闪片岩；d—榴闪岩；e—蓝闪石榴辉岩；f—蓝闪石榴辉岩；其中b、c、d、f为正交偏光；a、e为单偏光；矿物代号：Qtz—石英；Grt—石榴石；Gln—蓝闪石；Chl—绿泥石；Phg—多硅白云母；Ab—钠长石；Hb—角闪石；Omp—绿辉石；Czo—斜黦帘石

Fig.3 The blueschists and eclogites of microscopic characteristics in Lancang Group

a—Garnet-muscovite-quartz blueschist; b—(containing Garnet) Chlorite albite blueschist; c—Garnet blueschist;d—Amphibole eclogite; e—Glaucophane eclogite; f—Glaucophane eclogite; b, c, d, f—Cross-polarized light; a, e—Single-polarized light; Qtz—Quartz; Grt—Garnet; Gln—Glaucophane; Chl—Chlorite; Phg—Phengite; Ab—Albite; Hb—Hornblende; Omp—Omphacite; Czo—Clinzoisite

层,呈对冲式逆冲推覆构造样式,形成一系列逆冲推覆断片。逆冲断层带常发育碳质云母片岩带,由于岩性相对软弱,构造变形强烈,表现出冲断滑脱变形的构造样式。断层带中发育一系列背冲、对冲的次级高角度逆冲断层,这些次级断层两侧发育一系列的牵引褶皱(图5f)、劈理等(图5g、h)。在次级逆冲断层中间形成一系列小型逆冲推覆断片(图

5g、h),断片中发育不同规模的尖棱-顶厚-同斜-平卧褶皱、S、M、Z、N型的流变小揉皱,石英脉呈S状、透镜状、无根状、倒勾状等(图5i)。整体表现为软弱层剪切流变的构造变形样式,显示层间脆-韧性剪切滑脱变形特征。随着冲断带的持续发展,早期形成的糜棱面理 S_2 也发生褶皱弯曲(图5l)。

变质作用有低温低压区域退变质作用,蓝片岩

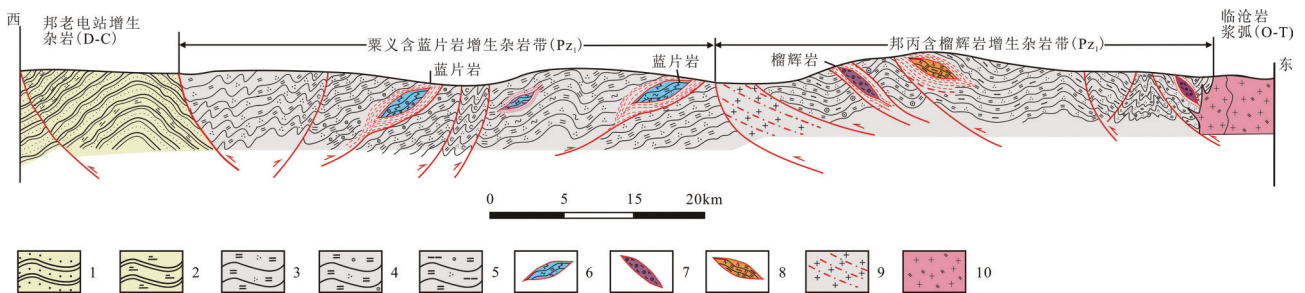


图4 澜沧岩群构造地质剖面图(据潘桂棠等,2019修改)

1—砂质板岩;2—绢板岩;3—白云母石英片岩;4—含石榴石白云母石英片岩;5—含石榴石二云母石英片岩;6—蓝片岩;7—榴辉岩;8—斜长角闪岩;9—花岗质片麻岩;10—二长花岗岩

Fig.4 Tectonic section of Lancang Group(modified from Pan Guitang et al., 2019)

1—Sand slate; 2—Sericite slate; 3—Muscovite quartz schist; 4—Garnet-bearing muscovite quartz schist; 5—Garnet-bearing mica quartz schist; 6—Blueschist; 7—Eclogite; 8—Plagioclase amphibolite; 9—Granitic gneiss; 10—Adamellite

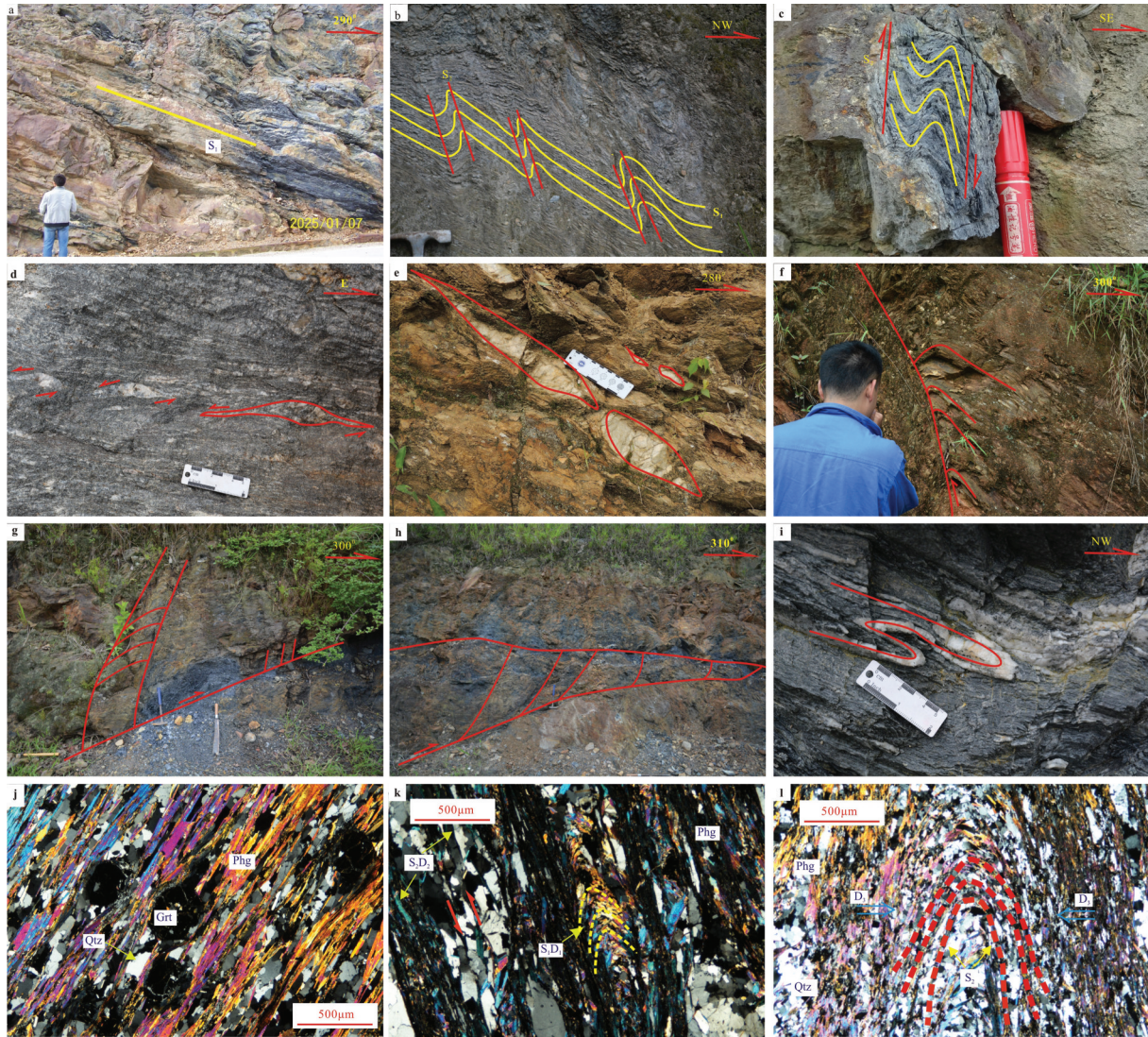


图5 澜沧岩群变形特征
Qtz—石英; Grt—石榴石; Phg—多硅白云母
Fig.5 Deformation characteristics of Lancang Group
Qtz—Quartz; Grt—Garnet; Phg—Phengite

相的岩石向绿片岩相退变,岩石变质程度减弱,岩石主要以恢复重结晶和静态重结晶变质作用为主。石榴蓝闪云母石英片岩中可见到蓝闪石、石榴石边缘发生绿泥石化,形成环带状结构,甚至绿泥石完全交代石榴石,但保留有石榴石的粒状晶型,形成石榴石假象。此外,石榴石大量析出铁质成分,部分形成绢云母集合体似石榴石假象,也说明发生退变质作用。这一现象在早期形成的斜长石斑晶中也能见到,绢云母集合体呈宽板状斜长石假象。在白云母石英片岩中,可见不定向分布的绿泥石,表明其未受构造应力影响,为晚期形成。

6 锆石U-Pb年龄分析

6.1 测试方法

锆石挑选在河北省廊坊岩拓地质服务有限公司实验室完成,按常规方法分选后在双目显微镜下分类挑选,选取代表性的锆石颗粒制成环氧树脂样品靶。透射光、反射光及阴极发光(CL)显微结构照相均在武汉上谱分析科技有限责任公司完成。通过详细分析对比锆石的透反射、阴极发光照片,挑选出合适的锆石颗粒用于U-Pb年代学测试。锆石U-Pb同位素定年在武汉上谱分析科技有限责任公司

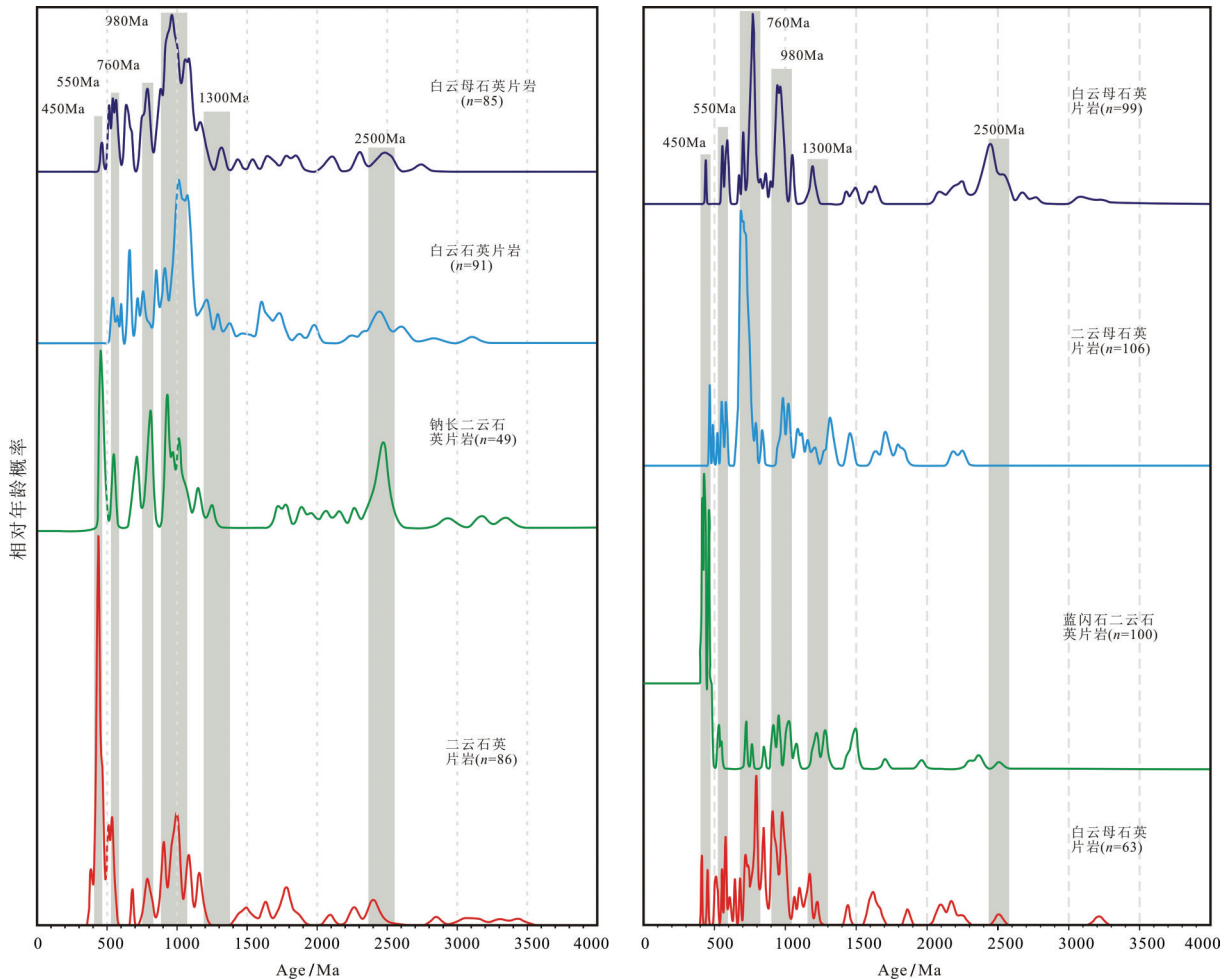


图6 澜沧岩群碎屑锆石年龄谱系图

Fig.6 Ages hierarchical diagrams of detrital zircon in the Lancang Group

司利用LA-ICP-MS分析完成。GeolasPro激光剥蚀系统由COMPexPro 102 ArF 193 nm准分子激光器和MicroLas光学系统组成,ICP-MS型号为Agilent 7700e。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度。本次分析的激光束斑直径为32 μm 。采用锆石标准91500和玻璃标准物质NIST610作外标分别进行锆石U-Pb年龄校正。U-Pb同位素比值和年龄计算采用软件ICPMSDataCal(Liu et al., 2010)年龄加权平均计算采用Isoplot3.0(Ludwig, 2003)完成。

6.2 测试结果

对澜沧岩群中8件副变质岩中的碎屑锆石进行了U-Pb年龄测试,CL图像显示,锆石磨圆度较好,整体晶形较好,多数具有明显的环带结构,长宽比为1:2,少数锆石具有核-边结构和窄的变质增生边。对每件样品中偏离谐和线和具有混合年龄值

的测试值剔除,8件碎屑锆石U-Pb年龄主要分布在450~550 Ma,760~980 Ma,~1300 Ma,其中最年轻的碎屑锆石年龄峰值为450 Ma左右(图6)。

对2件变酸性岩进行了锆石U-Pb年龄测试(另文发表)。锆石绝大多数为柱状—长柱状晶体,短柱状晶体较少,颗粒大小集中在80~150 μm 。CL图像下可见绝大多数锆石为密集的岩浆振荡环带,半数以上锆石含有不同类型的残留核,少数锆石还可见边部存在环带状窄的变质边,颜色整体呈浅灰白色,显示典型岩浆锆石的特征。

其中钠长片岩23个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为470~479 Ma,在误差范围内,所有点均落在谐和线或附近(图7a),加权平均年龄为 (474.1 ± 1.7) Ma (MSWD=0.39, $n=23$)。锆石稀土元素显示岩浆锆石稀土的曲线特征,474.1 Ma代表了钠长片岩岩浆的结晶年龄,其时代属早奥陶世。钠长浅粒岩20个

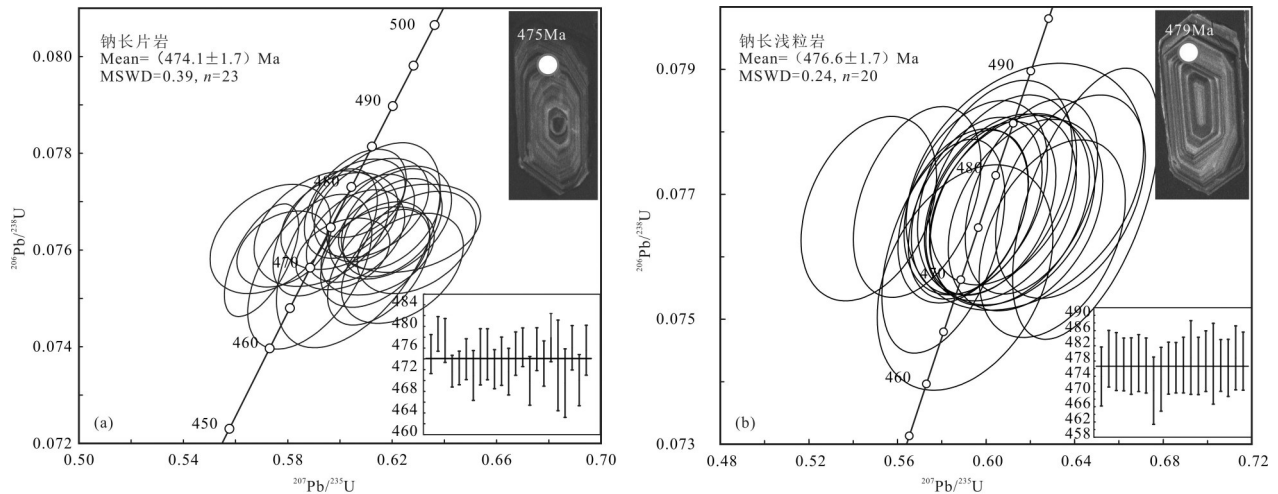


图7 变酸性岩锆石U-Pb年龄谱和图

Fig.7 Zircon U-Pb concordia diagrams of the meta-acid rocks

测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 470~479 Ma, 在误差范围内, 所有点均落在谐和线上或附近(图 7b), 加权平均年龄为 $(476.6 \pm 1.7) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.24, n=20$)。锆石稀土元素显示岩浆锆石稀土的曲线特征, 476.6 Ma 代表了钠长浅粒岩岩浆结晶年龄。二者所得年龄一致, 说明其形成时代为早奥陶世。

7 讨论

7.1 澜沧岩群时代的限定

澜沧岩群的形成时代长期存在争论, 综合已有的资料分析来看, 澜沧岩群的时代从元古代至泥盆纪均有阐述(翟明国等, 1990; 钟大赉, 1998; 王舫等, 2017; 王保弟等, 2018)。在造山带地区, 多数副变质岩无古生物化石, 与区域上地层也无法进行对比, 通常是采用碎屑锆石来对年龄进行限定, 沉积地层最年轻碎屑锆石代表沉积地层最老年龄值(Andersen, 2005), 对于卷入增生事件中最老的弧岩浆作用年龄作为增生事件的开始时限(略晚)(肖文交等, 2019)。锆石 U-Pb 年龄分析结果表明, 澜沧岩群 8 件副变质岩碎屑锆石 U-Pb 年龄主要分布在 450~550 Ma, 760~980 Ma, ~1300 Ma, 其中最年轻的碎屑锆石年龄峰值为 450 Ma 左右, 其与区域上的研究结果接近(王舫等, 2017; 王保弟等, 2018)。2 件变酸性岩(钠长片岩、钠长浅粒岩)锆石 U-Pb 年龄为 474 Ma、476 Ma。由于澜沧岩群经历了多期构造叠加, 钠长片岩与围岩(二云石英片岩)之间无明显

的构造接触界面, 二者之间面理方向基本一致(图 2c); 钠长浅粒岩与围岩(二云石英片岩)之间可见明显的构造接触关系(图 2f), 显示“基质包裹岩块”的特征。地球化学特征显示二者均具有弧花岗岩的性质, 与昌宁—孟连洋俯冲消减有关。本次研究认为二者均为澜沧岩群中的构造岩块, 基质为二云石英片岩, 具“基质包裹岩块”的特征。近年来, 已有研究者对惠民、栗义等地区的中基性火山进行了年代学及地球化学研究, 获得了较好的结果。Nie et al. (2015) 对澜沧岩群惠民组 3 件变质火山岩进行了 LA-ICP-MS 年代学研究, 获得年龄为 456~459 Ma, 具有典型与俯冲有关的弧火山岩的特征; Xing et al. (2017) 在栗义一带澜沧岩群中变质火山岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 $(454 \pm 27) \text{ Ma}$, 在惠民地区变质火山岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 $(462 \pm 6) \text{ Ma}$, 成分与高镁安山岩相当, 并具有弧火山岩的特征; Wang et al. (2019) 对澜沧岩群中原岩具有 OIB 特征的榴辉岩进行了年代学研究, 获得原岩年龄为 451 Ma。综合已有的研究成果, 表明澜沧岩群形成时代可能为早—中奥陶世, 综合分析将澜沧岩群时代厘定为早古生代。

7.2 澜沧岩群归属

一直以来, 对于澜沧岩群的归宿问题存在较大的争议, 传统观点认为澜沧岩群为一套浅变质的基底岩系。近年来的研究认为, 澜沧岩群为原—古特提斯大洋俯冲消亡的地质记录, 具有增生杂岩的特

征(王根厚等, 2009; 王保弟等, 2018; 潘桂棠等, 2019)。增生杂岩与蛇绿岩在造山带内紧密共存, 认为是古洋盆俯冲消亡的最终位置(Isozaki et al., 1990; Shervais, 2006)。增生杂岩是不同岩性、时代的地质体堆叠, 混杂, 经历了多期次的变质、变形作用。澜沧岩群岩性主要为一套发生强烈变质、变形的复理石和斜长角闪(片)岩、蓝片岩、榴辉岩、绿片岩等块体组成。原岩为基性岩的块体多数是洋壳物质(玄武岩、辉绿(长)岩); 中酸性的块体具有岩浆弧性质。由于发生强片理化和多期构造的叠加, 多数块体(蓝片岩、绿片岩等)与围岩(基质)界线不清, 二者之间面理(片理)平行, 总体呈混杂岩“基质裹挟块体”的特征。增生杂岩常与高压变质岩(蓝片岩、榴辉岩等)伴生, 蓝片岩-榴辉岩的时空展布是板块汇聚边界及大洋俯冲和大陆碰撞的重要标志, 记录了俯冲与折返的全过程(Ernst, 2006; Zhang et al., 2008)。本次 1:5 万区域地质调查工作在粟义、南榔、邦丙等一带的澜沧岩群中发现多处蓝片岩、榴(闪)辉岩露头, 呈南北向带状分布, 蓝片岩原岩地球化学特征具有弧火山岩和 OIB 的性质, 榴(闪)辉岩原岩地球化学特征具有 E-MORB、OIB 的性质, 与区域上蓝片岩、榴(闪)辉岩原岩地球化学特征一致(Fan et al., 2015; 王舫等, 2016; 孙载波等, 2017b; Wang et al., 2019)。高压变质岩原岩形成时代复杂, 蓝片岩原岩时代主要有 260 Ma (Fan et al., 2015)、250 Ma (本项目未发表数据); 榴(闪)辉岩原岩时代有 801 Ma、451 Ma、429~463 Ma (李静等, 2017; 孙载波等, 2018; 王保弟等, 2018; Wang et al., 2019) 及 433 Ma、464 Ma (本项目未发表数据), 与昌宁-孟连蛇绿混杂岩中残余洋壳时代一致(王保弟等, 2013, 2018; 王冬兵等, 2016; 孙载波等, 2017a; 刘桂春等, 2017; 彭智敏等, 2020)。说明高压变质岩原岩性质不仅具有多样性, 且时代也具不同的时代, 其记录了昌宁-孟连洋俯冲、消亡以及增生造山构造演化过程, 说明澜沧岩群经历了深俯冲作用, 蓝片岩、榴辉岩经过弧-陆、陆-陆碰撞而折返就位。

增生杂岩显著的特征是具基质-岩块相互剪切的构造关系, 构造样式为多重逆冲叠瓦扇和双重构造的组合特征(Von Huene et al., 1994; Taira, 2001; Niitsuma, 2004), 形成一系列的逆冲断层和不同类型的褶皱和褶皱冲断带。澜沧岩群靠近南段增生

杂岩(D-C)一侧, 即粟义一带主要以倾向 W 的叠瓦状逆冲推覆断裂为主, 各逆冲断片中为层间剪切变形-滑脱变形构造, 发育不同规模的尖棱-顶厚-同斜-平卧褶皱; 粟义以西到临沧复式岩体一带表现为倾向 E 的叠瓦状逆冲推覆构造, 各逆冲断片中以宽缓的背、向斜构造为主, 主体枢纽近水平。由于受到多期次变质变形作用叠加, 形成一系列的不对称旋转碎斑, S 型、M 型、N 型等剪切流变状石英脉, 或 S-C 组构, 发育一系列不同类型的褶皱。相比较而言, 西侧变质变形程度和物质组成的复杂程度均高于东侧, 由东向西高压(超高)压俯冲折返带、弧-沟间浊积岩增生楔、牛井山蛇绿混杂岩带, 表明可能为东向西后退式的增生过程。

综上所述, 澜沧岩群物质组成具复杂性、多样性, 块体的原岩具有不同性质和时代; 经历多期变质变形作用叠加, 发育由西向东, 由东向西的逆冲断层, 具有对冲、背冲的特点, 整体表现为逆冲推覆-增生造山的构造样式, 物质组成、构造变形特征符合增生杂岩的特点。澜沧岩群原生沉积叠覆关系、层序被完全改造, 发生了强烈的构造置换和压溶作用, 由不同的岩性断片拼贴、堆积而成, 均为构造面理接触。因此认为, 澜沧岩群为昌宁-孟连原-古特提斯洋俯冲消减、弧-陆碰撞、增生造山过程形成的一套早古生代增生杂岩, 而非基底岩系, 基底物质可能被卷入其中后被完全肢解, 与澜沧岩群物质一起重新聚集、混杂及迁移, 具体位置难以确定。

7.3 澜沧岩群增生杂岩厘定的意义

造山带混杂岩地区物质组成、构造作用复杂, 岩石经历了多期次、多阶段强烈构造变形改造, 各种构造岩片重叠、迁移, 各地质体时代跨度大, 已无顶、底和层序可言, 史密斯地层学已难以反映客观实际情况。针对这种情况, 地质学家提出了造山带地区填图理论和方法(Roberton, 1994; 许靖华等, 1998; 张智勇等, 2002; 张克信等, 2004; 潘桂棠等, 2008; 毛晓长等, 2015)。近年来, 洋板块地层系统(OPS)研究也成为地质学家研究的一个热点(张克信等, 2016; 任飞等, 2017; 冯益民等, 2018; 潘桂棠等, 2019; 李廷栋等, 2019), 而洋板块地层中增生杂岩的识别尤为重要, 是剖析造山带形成过程中的物质归宿、洋壳消亡及陆壳增生等动力学机制的关键, 为地质找矿、环境评价及地质灾害防治等提供

重要的支撑。本次工作首次采用洋板块地层系统(OPS)理论方法对澜沧岩群进行调查,采用岩性+构造(基质+岩块)填图,注重不同岩性、构造的表达。查明了澜沧岩群的物质组成、构造属性、形成时代和形成机制,将其厘定为早古生代增生杂岩,对于深入认识昌宁—孟连原—古特提斯洋盆的发展演化、重塑三江地区俯冲增生模式、洋陆转换方式提供了重要的基础资料。增生杂岩带存储着大量的流体,蕴藏着铜、金、多金属矿床,全球1/3金矿床均分布于增生杂岩带内。澜沧岩群增生杂岩铁矿资源丰富,目前也发现多处金、铜等化点,为下一步找矿提供了重要的支撑。

8 结 论

(1)前人划的基底岩系“澜沧岩群”厘定为早古生代俯冲增生杂岩,是原—古特提斯洋俯冲消减的物质记录。查明了其物质组成、变质变形特征,将划分为6个岩组,12个岩段,主要的变质变形分为3期;根据碎屑锆石、变酸性岩锆石U—Pb年龄综合分析认为,澜沧岩群增生杂岩可能形成于早古生代。

(2)一系列高压—超高压变质岩(蓝片岩、榴(闪)辉岩)的发现,对于深入认识昌宁—孟连原—古特提斯洋盆的发展演化、重塑三江地区俯冲增生模式、洋陆转换方式提供了重要的依据。

致谢:本文成果是在云南1:5万文东幅区域地质调查成果基础上总结而成,是项目组共同的劳动成果,感谢项目组全体人员在填图过程中辛勤的付出。在野外调查和论文撰写过程中得到李文昌、潘桂棠、牟传龙、王立全研究员多次指导,在此深表谢意!

References

Andersen T. 2005. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: Limiting conditions from statistics and numerical simulation[J]. *Chemical Geology*, 216(3/4):249–270.

Deng Jun, Wang Qingfei, Li Gongjian, Li Chusi, Wang Changming. 2014. Tethys tectonic evolution and its bearing on the distribution of important mineral deposits in the Sanjiang region, SW China[J]. *Gondwana Research*, 26(2):419–437.

Deng Jun, Wang Qingfei, Li Gongjian. 2016. Superimposed orogeny and composite metallogenic system: Case study from the Sanjiang Tethyan belt, SW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(8):2225–2247(in Chinese with English abstract).

Ernst W G. 2006. Preservation/exhumation of ultrahigh-pressure

subduction complexes[J]. *Lithos*, 92(3/4):321–335.

Fan Weiming, Wang Yuejun, Zhang Yanhua, Zhang Yuzhi, Jourdan F, Zi Jianwei, Liu Huichuan. 2015. Paleotethyan subduction process revealed from Triassic blueschists in the Lancang tectonic belt of Southwest China[J]. *Tectonophysics*, 662:95–108.

Feng Yimin, Zhang Yue. 2018. Introduction and commentary on ocean plate stratigraphy[J]. *Geological Bulletin of China*, 37(4):523–531 (in Chinese with English abstract).

Festa A, Pini G A, Dilek Y, Codegone G. 2010. Mélanges and mélange-forming processes: A historical overview and new concepts[J]. *International Geology Review*, 52:1040–1105.

Fu Yuzhen, Peng Zhiming, Wang Baodi, Wang Guozhi, Hu Jingfeng, Guan Junlei, Zhang Zhang, Liu Yunhe, Zou Hou. 2021. Petrology and metamorphism of glaucophane eclogites in Changning–Menglian suture zone, Bangbing area, southeast Tibetan Plateau: An evidence for Paleotethyan subduction[J]. *China Geology*, 4:111–125.

Isozaki Y, Maruyama S, Fukuoka F. 1990. Accreted oceanic materials in Japan[J]. *Tectonophysics*, 181:179–205.

Kusky T M, Bradley D C. 1999. Kinematics of mélange fabrics: Examples and applications from the McHugh Complex, Kenai Peninsula, Alaska[J]. *Journal of Structural Geology*, 21:1773–1796.

Kusky T M, Windley B F, Safonova I, Wakita K, Wakabayashi J, Polat A, Santosh M. 2013. Recognition of ocean plate stratigraphy in accretionary orogens through Earth history: A record of 3.8 billion years of sea floor spreading, subduction, and accretion[J]. *Gondwana Research*, 24(2):501–547.

Li Jiliang. 2004. Basic characteristics of accretion-type orogens[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(9/10):947–951(in Chinese with English abstract).

Li Jing, Sun Zaibo, Huang Liang, Xu Guixiang, Tian Sumei, Deng Renhong, Zhou Kun. 2017. *P–T–t* Path and Geological Significance of Retrograded Eclogites from Mengku Area in Western Yunnan Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(7): 2285–2301(in Chinese with English abstract).

Li Tingdong, Xiao Qinghui, Pan Guitang, Lu Songnian, Ding Xiaozhong, Liu Yong. 2019. A Consideration about the Development of Ocean Plate Geology[J]. *Earth Science*, 44(5): 1441–1451(in Chinese with English abstract).

Liu Benpei, Feng Qinglai, Chonglakmani C, Helmcke D. 2002. Framework of Paleotethyan archipelago ocean of western Yunnan and its elongation towards north and South[J]. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 161–171(in Chinese with English abstract).

Liu Benpei, Feng Qinglai, Fang Nianqiao, Jia Jinhua, He Fuxiang. 1993. Tectonic evolution of palaeo-Tethys Poly-Island-Ocean in Changning–Menglian and Lancangjiang Belts, southwestern Yunnan, China[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 18(5):529–539(in Chinese with English abstract).

Liu Guichun, Sun Zaibo, Zeng Wentao, Feng Qinlai, Huang Liang,

- Zhang Hu. 2017. The age of Wanhe ophiolitic mélange from Mengku Area, Shuangjiang County, Western Yunnan Province, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(2):163–174(in Chinese with English abstract).
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt–peridotite interactions in the Trans North China Orogen: U–Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 51(1/2):537–571.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft excel[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1–70.
- Mao Xiaochang, Wang Genhou, Liang Xiao, Zhang Feng, Liu Yang, Liu Junping, Zheng Yilong, Niu Wenchao. 2015. Practice and exploration of 1: 50000 geological mapping in accretionary complex belt: An example from Qomo Ri area of Central Qiangtang, Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 382–393(in Chinese with English abstract).
- Metcalf I. 1994. Gondwanaland origin, dispersion, and accretion of East and Southeast Asian continental terranes[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 7(3/4):333–347.
- Mo, Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shenyue, Zhu Qinwen, Hou Zengqian. 1993. Tethys Volcanism and Mineralization in the Sanjiang Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–205 (in Chinese with English abstract).
- Nie Xiaomei, Feng Qinglai, Qian Xin, Wang Yunjun. 2015. Magmatic record of prototethyan evolution in SW Yunnan, China: Geochemical, Zircon U–Pb geochronological and Lu–Hf isotopic evidence from the Huimin metavolcanic rocks in the Southern Lancangjiang zone[J]. *Gondwana Research*, 28 (2): 757–768.
- Niitsuma N. 2004. Japan Trench and tectonics of the Japanese Island Arcs[J]. *The Island Arc*, 13(1):306–317.
- Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, Xu Qiang, Jiang Xinsheng. 1996. Models for the evolution of the polyarc–basin systems in Eastern Tethys[J]. *Petrographic Paleogeography*, 16(2):52–65(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Lu Songnian, Xiao Qinghui, Zhang Kexin, Yin Fuguang, Hao Guojie, Luo Mansheng, Ren Fei, Yuan Sihua. 2016. Division of tectonic stages and tectonic evolution in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 23(6):1–23(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Wang Liquan, Li Rongshe, Yin Fuguang, Zhu Dicheng. 2012. Ectonic model of archipelagic arc–basin systems: The key to the continental geology[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(3):1–4(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, Deng Jinfu, Feng Yimin, Zhang Kexin, Zhang Zhiyong, Wang Fangguo, Xing Guangfu, Hao Guojie, Feng Yanfang. 2002. Definition, classification, characteristics and diagnostic indications of tectonic facies[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(10):1613–1637(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Zhang Kexin, Yin Fuguang, Ren Fei, Peng Zhimim, Wang Jiakuan. 2019. Recognition of the oceanic subduction–accretion zones from the orogenic belt in continents and its important scientific significance[J]. *Earth Science*, 44(55): 1544–1561(in Chinese with English abstract).
- Peng Zhimin, Fu Yuzhen, Wang Guozhi, Guan Junlei, Geng Quanru, Hu Jinfeng, Liu Yunhe, Zhang Zhang. 2020. The research of geochronology, geochemistry and Sr–Nd–Hf isotopic of amphibolites in the Qingping Region, Changning–Menglian Suture Zone[J]. *Acta Geologica Sinica*, 94(2): 511–526(in Chinese with English abstract).
- Peng Zhimin, Wang Guozhi, Wang Baodi, Wang Liquan, Fu Yuzhen, Guan Junlei, Hu Jinfeng, Zhang Ji. 2019. The discovery of glaucophane eclogites from Langcang Group in bangbing area, Yunnan Province[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 46(5):639–640(in Chinese with English abstract).
- Peng Zhimin, Zhang Ji, Guan Junlei, Han Wenwen, Fu Yuzhen. 2018. The discovery of Early–Middle Ordovician granitic gneiss from the Giant Lingcang batholith in Sangjiang Area of Western Yunnan and its geological implications[J]. *Earth Science*, 43(8):2571–2585 (in Chinese with English abstract).
- Ravna E J K, Terry M P. 2004. Geothermobarometry of UHP and HP eclogites and schists: an evaluation of equilibria among garnet–clinopyroxene–kyanite–phengite–coesite/quartz[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 22:579–592.
- Ravna E J K. 2000. The garnet–clinopyroxene Fe²⁺–Mg geothermometer: An updated calibration[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 18: 211–220.
- Ren fei, Pan Guitang, Yin Fuguang, Chang Mengyao, Xiao Qinghui. 2017. Oceanic plate stratigraphy and tectonic evolution of the Nujiang–Lancangjiang–Jinshajiang area in southwestern China[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(4):40–47(in Chinese with English abstract).
- Robertson A H F. 1994. Role of the tectonic facies concept in orogenic analysis and its application to Tethys in eastern Mediterranean region[J]. *Earth Science Reviews*, 37:139–213.
- Shervais J W. 2006. The significance of subduction–related accretionary complexes in early Earth processes[J]. *Geological Society of America Special Papers*, 405:173–192.
- Sun Zaibo, Li Jing, Zhou Kun, Zeng Wentao, Duan Xiangdong, Zhao Jiangtai, Xu Guixiang, Fan Yuehua. 2017b. Geochemical characteristics and geological significance of retrograde eclogite in Mengku Area, Shuangjiang County, Western Yunnan Province, China[J]. *Geoscience*, 31(4):746–756(in Chinese with English abstract).
- Sun Zaibo, Li Jing, Zhou Kun, Zeng Wentao, Wu Jialin, Hu Shaobin, Liu Guichun, Zhao Jiangtai. 2018. Zircon U–Pb age and geological

- significance of retrograded eclogites from Mengku area in western Yunnan Province[J]. Geological Bulletin of China, 37(11): 2032–2043(in Chinese with English abstract).
- Sun Zaibo, Zeng Wentao, Zhou Kun, Wu Jialin, Li Gongjian, Huan Liang, Zhao Jiangtai. 2017a. Identification of Ordovician oceanic island basalt in the Changning–Menglian suture zone and its tectonic implications: Evidence from geochemical and geochronological data[J]. Geological Bulletin of China, 36(10): 1760–1771(in Chinese with English abstract).
- Taira A. 2001. Tectonic evolution of the Japanese Island Arc system[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 29(1): 109–134.
- Von Huene R, Klaeschen D, Cropp B, Miller J. 1994. Tectonic structure across the accretionary and erosional parts of the Japan trench margin[J]. Journal of Geophysical Research Solid Earth, 99 (B11):22349–22361.
- Wang Baodi, Wang Liqun, Pan Guitang, Yin Fuguang, Wang Dongbing, Tang Yuan. 2013. U–Pb Zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nantinghe ophiolite in the Changning–Menglian Suture zone and its geological implication[J]. Chinese Science Bulletin, 58(4):344–354(in Chinese).
- Wang Baodi, Wang Liqun, Wang Dongbing, Yin Fuguang, He Juan, Peng Zhimin, Yan Guochuan. 2018. Tectonic evolution of the Changning–Menglian Proto–Paleo Tethys Ocean in the Sanjiang area, south western China[J]. Earth Science, 43(8): 2527–2550(in Chinese with English abstract).
- Wang Dongbing, Luo Liang, Tang Yuan, Yin Fuguang, Wang Baodi, Wang Liqun. 2016. Zircon U–Pb dating and petrogenesis of Early Paleozoic adakites from the Niujiangshan ophiolitic mélange in the Changning–Menglian suture zone and its geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 32(8):2317–2329(in Chinese with English abstract).
- Wang Fang, Liu Fulai, Ji Lei, Liu Lishuang. 2017. LA–ICP–MS U–Pb dating of detrital zircon from low–grade metamorphic rocks of the Lancang Group in the Lancangjiang Complex and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 33(9): 2975–2985(in Chinese with English abstract).
- Wang Fang, Liu Fulai, Ji Lei, Liu Pinghua, Cai Jia, Tian Zhonghua, Liu Lishuang. 2016. Petrogenesis and metamorphic evolution of blueschist from Xiaoheijiang–Shangyun area in Lancangjiang metamorphic complex[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 35(5): 804–820(in Chinese with English abstract).
- Wang Genhou, Han Fanlin, Yang Yunjun, Li Yuangqing, Cui Jiangli. 2009. Discovery and geologic significance of Late Paleozoic accretionary complexes in central Qiangtang, northern Tibet, China[J]. Geological Bulletin of China, 28(9): 1181–1187(in Chinese with English abstract).
- Wang Huining, Liu, Fulai, Li Jing, Sun Zaibo, Ji Lei, Tian Zhanghua, Liu Lishuang, Santosh M. 2019. Petrology, geochemistry and P – T – t path of lawsonite–bearing retrograded eclogites in the Changning–Menglian orogenic belt, southeast Tibetan Plateau[J]. Journal of Metamorphic Geology, 39: 439–478.
- Wei Chunjing, Clarke G L. 2011. Calculated phase equilibria for MORB compositions: A reappraisal of the metamorphic evolution of lawsonite eclogite[J]. Journal of Metamorphic Geology, 29(9): 939–952.
- Xiao Wenjiao, Li Jiliang, Song Dongfang, Han Chunming, Wan Bo, Zhang Jien, Ao Songjian, Zhang Zhiyong. 2019. Structural analyses and spatio–temporal constraints of accretionary orogens[J]. Earth Science, 44(55):1661–1687(in Chinese with English abstract).
- Xing Xiaowan, Wang Yunjun, Cawood P A, Zhang Yuzhi. 2017. Early Paleozoic accretionary orogenesis along northern margin of Gondwana constrained by high–Mg metaigneous rocks, SW Yunnan[J]. International Journal of Earth Sciences, 106(5):1469–1486.
- Xu Jinghua, Sun S, Wang Qingchen, Chen Haihong. 1998. Tectonic Facies of China (1: 4000000) [M]. Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- Zhai Minguo, Cong Boling, Qiao Guangsheng, Zhang Ruyuan. 1990. Sm–Nd and Rb–Sr geochronology of metamorphic rocks from SW Yunnan Orogenic Zones, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 6(4):1–11(in Chinese with English abstract).
- Zhang Kexin, Zhu Yunhai, Yin Hongfu, Wang Guocan, Chen Nengsong, Hou Guangjiu. 2004. Application of tectonic facies in geological Mapping in East Kunlun orogenic belt[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 29(6): 661–666(in Chinese with English abstract).
- Zhang Kexing, He Weihong, Xu Yadong, Luo Mansheng, Song Bowen, Kou Xiaohu, Zhang Zhiyong, Xiao Qinghui, Pan Guitang. 2016. Palaeogeographic distribution and tectonic evolution of OPS in China[J]. Earth Science Frontiers, 23(6):24–30(in Chinese with English abstract).
- Zhang Lifei, Lü Zeng, Zhang Guibin, Song Shuguang. 2008. The geological characteristics of oceanic–type UHP metamorphic belts and their tectonic implications: Case studies from Southwest Tianshan and North Qaidam in NW China[J]. Chinese Science Bulletin, 53(20):3120–3130.
- Zhang Zhiyong, Zhang Kexin, Yu Qingwen, Gong Quansheng, Liang Yunhai, Yan Chengmin. 2002. Method of 1: 250000 regional geological surveying in orogenic belts[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 27(4):377–385(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhiyuan. 1996. Lithostratigraphy of Yunnan Province[M]. Wuhang: China University of Geosciences Press, 24–31(in Chinese with English abstract).
- Zhong Dalai. 1998. The Paleo–Tethys Orogenic Belt in Western Yunnan[M]. Beijing: Science Press, 56–170(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李静, 孙载波, 黄亮, 徐桂香, 田素梅, 邓仁宏, 周坤. 2017. 滇西勐库退变质榴辉岩的 $P-T-t$ 轨迹及地质意义[J]. 岩石学报, 33(7): 2285–2301.
- 李廷栋, 肖庆辉, 潘桂棠, 陆松年, 丁孝忠, 刘勇. 2019. 关于发展洋板块地质学的思考[J]. 地球科学, 44(55):1441–1451.
- 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, Helmcke D. 2002. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸[J]. 地学前缘, 9(3):161–171.
- 刘本培, 冯庆来, 方念乔, 贾进华, 何馥香. 1993. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 18(5):529–539.
- 刘桂春, 孙载波, 曾文涛, 冯庆来, 黄亮, 张虎. 2017. 滇西双江县勐库地区湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 36(2):163–174.
- 毛晓长, 王根厚, 梁晓, 张峰, 刘洋, 刘军平, 郑艺龙, 牛文超. 2015. 增生杂岩带 1:5 万地质填图的实践与探索:以西藏羌塘中部角木日地区为例[J]. 地学前缘, 22(3):382–393.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 朱勤文, 侯增谦. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 地质出版社, 1–205.
- 潘桂棠, 陈智樑, 李兴振, 徐强, 江新胜. 1996. 东特提斯多弧—盆系统演化模式[J]. 岩相古地理, 16(2):52–65.
- 潘桂棠, 陆松年, 肖庆辉, 张克信, 尹福光, 郝国杰, 骆满生, 任飞, 袁四化. 2016. 中国大地构造阶段划分和演化[J]. 地学前缘, 23(6): 1–23.
- 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 尹福光, 朱弟成. 2012. 多岛弧盆系构造模式:认识大陆地质的关键[J]. 沉积与特提斯地质, 32(3):1–4.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 刑光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2002. 大地构造相的定义、划分特征及其鉴别标志[J]. 地质通报, 27(10):1613–1637.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 张克信, 尹福光, 任飞, 彭智敏, 王嘉轩. 2019. 大陆中洋壳俯冲增生杂岩带特征与识别的重大科学意义[J]. 地球科学, 44(55):1544–1561.
- 彭智敏, 付于真, 王国芝, 关俊雷, 耿全如, 胡金锋, 刘云鹤, 张璋. 2020. 昌宁—孟连结合带清平地区斜长角闪岩锆石年代学及 Sr–Nd–Hf 同位素研究[J]. 地质学报, 94(2):511–526.
- 彭智敏, 王国芝, 王保弟等. 2019. 云南邦丙澜沧岩群中发现蓝闪石榴辉岩[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 46(5):639–640.
- 彭智敏, 张辑, 关俊雷, 张璋, 韩文文, 付于真. 2018. 滇西“三江”地区临沧花岗岩基早—中奥陶世花岗岩质片麻岩的发现及其意义[J]. 地球科学, 43(8):2571–2585.
- 任飞, 潘桂棠, 尹福光, 常梦瑶, 肖庆辉. 2017. 西南三江地区洋板块地层特征及构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 37(4):40–47.
- 孙载波, 曾文涛, 周坤, 吴嘉琳, 李龚健, 黄亮, 赵江泰. 2017a. 昌宁—孟连结合带奥陶纪洋岛玄武岩的识别及其构造意义——来自地球化学和锆石 U–Pb 年龄的证据[J]. 地质通报, 36(10):1760–1771.
- 孙载波, 李静, 周坤, 曾文涛, 段向东, 赵江泰, 徐桂香, 樊岳华. 2017b. 滇西双江县勐库地区退变质榴辉岩的岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 31(4): 746–756.
- 孙载波, 李静, 周坤, 曾文涛, 吴嘉琳, 胡绍斌, 刘桂春, 赵江泰. 2018. 滇西勐库地区退变质榴辉岩锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 37(11): 2032–2043.
- 王保弟, 王立全, 潘桂棠, 尹福光, 王冬兵, 唐渊. 2013. 昌宁—孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J]. 科学通报, 58(4):344–354.
- 王保弟, 王立全, 王冬兵, 尹福光, 贺娟, 彭智敏, 闫国川. 2018. 三江昌宁—孟连带原—古特提斯构造演化[J]. 地球科学, 43(8):2527–2550.
- 王冬兵, 罗亮, 唐渊, 尹福光, 王保弟, 王立全. 2016. 昌宁—孟连结合带牛井山早古生代埃达克岩锆石 U–Pb 年龄、岩石成因及其地质意义[J]. 岩石学报, 32(8):2317–2329.
- 王舫, 刘福来, 冀磊, 刘利双. 2017. 澜沧江杂岩带澜沧群浅变质岩系碎屑锆石 LA–ICP–MS U–Pb 年代学及其构造意义[J]. 岩石学报, 33(9):2975–2985.
- 王舫, 刘福来, 冀磊, 刘平华, 蔡佳, 田忠华, 刘利双. 2016. 澜沧江杂岩带小黑江—上允地区蓝片岩的成因及变质演化[J]. 岩石矿物学杂志, 35(5):804–820.
- 王根厚, 韩芳林, 杨运军, 李元庆, 崔江利. 2009. 藏北羌塘中部晚古生代增生杂岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 28(9):1181–1187.
- 肖文交, 李继亮, 宋东方, 韩春明, 万博, 张继恩, 敖松坚, 张志勇. 2019. 增生型造山带结构解析与时空制约[J]. 地球科学, 44(55): 1661–1687.
- 许靖华, 孙枢, 王清晨, 陈海泓. 1998. 中国大地构造相图(1:4000000) [M]. 北京:科学出版社.
- 翟明国, 从柏林, 乔广生, 张儒瑗. 1990. 中国滇西南造山带变质岩的 Sm–Nd 和 Rb–Sr 同位素年代学[J]. 岩石学报, 6(4):1–11.
- 张克信, 何卫红, 徐亚东, 骆满生, 宋博文, 寇晓虎, 张智勇, 肖庆辉. 2016. 中国洋板块地层分布及构造演化[J]. 地学前缘, 23(6): 24–30.
- 张克信, 朱云海, 殷鸿福, 王国灿, 陈能松, 侯光久. 2004. 大地构造相在东昆仑造山带地质填图中的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 29(6):661–666.
- 张志远. 1996. 云南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 24–31.
- 张智勇, 张克信, 于庆文, 龚全胜, 梁云海, 严城民. 2002. 造山带区 1:25 万区域地质调查方法[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 27(4):377–385.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京:科学出版社, 56–170.